

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN
CAMPUS DE NATAL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ANTONIO SEBASTIÃO PORTO DA COSTA

MODELAGEM DE AMBIENTES PARA IPTV
Análise comparativa de cenários de QoS utilizando Network Simulator

NATAL - RN

2013

ANTONIO SEBASTIÃO PORTO DA COSTA

MODELAGEM DE AMBIENTES PARA IPTV

Análise comparativa de cenários de QoS utilizando Network Simulator

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: Professor Msc. Isaac de Lima Oliveira Filho

NATAL - RN

2013

ANTONIO SEBASTIÃO PORTO DA COSTA

MODELAGEM DE AMBIENTES PARA IPTV

Análise comparativa de cenários de QoS utilizando Network Simulator

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação, sendo submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Aprovado em ___/___/___

Banca Examinadora

Professor Msc. Isaac de Lima Oliveira Filho (UERN)

Professor Msc. Felipe Denis Mendonça de Oliveira (UERN)

Prof. Mauricio Rabello Silva (UERN)

NATAL - RN

2013

Dedico este trabalho a todos que,
de alguma forma, contribuíram com a
efetivação desse objetivo.

AGRADECIMENTOS

Ao ser supremo, que me iluminou e me deu forças para prosseguir nos momentos mais difíceis;

Ao meu orientador Professor Msc. Isaac de Lima Oliveira Filho pelo apoio, orientação e incentivos imprescindíveis à elaboração desta monografia;

A todos os professores e funcionários da UERN pela disponibilidade e dedicação dispensadas a todos os alunos desta instituição;

A minha esposa Mônica e meus filhos Alexandre e Diego, por me apoiarem em mais uma caminhada tão árdua;

Aos colegas de curso, pela amizade;

A todos. Os meus sinceros agradecimentos.

Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida.

(EINSTEIN, 1953)

RESUMO

A cada dia os avanços tecnológicos permitem que sejam apresentados novos produtos e serviços aos usuários. No campo das telecomunicações, existe um produto, em fase de implantação, chamado IPTV (Internet Protocol Television), que se propõe a entregar vários formatos de mídias em simultâneo, através da rede IP, com o diferencial de ser acessado via TV, com o auxílio de um STP (Set-Top-Box). Diante disso, este trabalho traz uma análise da tecnologia IPTV, fazendo uma abordagem sobre os vários serviços a serem disponibilizados. Considerando que os serviços devem ser entregues via rede IP, são analisados os protocolos mais utilizados, as formas de encaminhamento e os formatos de redes de acesso. Tendo em visto que o objetivo principal deve ser a entrega dos serviços com qualidade, serão modelados alguns cenários que simulam a entrega desse serviço, dando ênfase ao fato de ser necessária uma infraestrutura com banda larga que suporte altas taxas de transmissão, pois somente assim, é possível garantir um serviço de qualidade, e com isso, garantir uma QoE (Quality of Experience) agradável para o usuário.

Palavras-chave: Telecomunicações, IPTV, Banda Larga, QoS, QoE.

ABSTRACT

Every day technological advances allow the introduction of new products and services to the consumers. In the field of telecommunications, there is a product in implantation phase, called IPTV (Internet Protocol Television), which proposes to deliver multiple media formats simultaneously, through the IP network, with the distinction of being accessed via television, with the aid of a STP (Set-Top-Box). Thus, this paper presents an analysis of IPTV technology, making an approach on the various services provided. Considering that the services should be delivered via IP network, the most often used protocols are analyzed, as well as the routing methods and the formats of the access networks. Having in mind that the main goal should be the delivery of quality services, it will be modeled some scenarios that simulate the delivery of that service, emphasizing the fact that it requires an infrastructure that supports broadband with high transmission rates, since only this way, it's possible to guarantee a quality service, and thus, ensure QoE (Quality of Experience) enjoyable for the user.

Keywords: Telecommunications, IPTV, Broadband, QoS, QoE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Arquitetura Padrão IPTV	28
Figura 2 – Diagrama de Rede em Fibra	32
Figura 3 - Modelo de Set-Top-Box	34
Figura 4– Pilha de Protocolos para IPTV	35
Figura 5 – Formas de Encaminhamento	36
Figura 6 – Relação QoE para QoS.....	43
Figura 7 – Topologia de Rede	50
Figura 8 – Início da simulação – Cenário 1	52
Figura 9 – Congestionamento/Perda de Pacotes – Cenário 1	53
Figura 10 – Vazão das aplicações - Cenário 1	55
Figura 11 – Visualização Cenário 2.....	57
Figura 12 – Comparativo entre os Cenários 1 e 2.....	58
Figura 13 - Cenário 3 no NAM.....	59
Figura 14 – Cenário 3 no Xgraph	60
Figura 15 – Quebras de Link – Cenário 4.....	62
Figura 16 – Gráfico de Vazão – Cenário 4	63
Figura 17 – Engenharia de Tráfego – Cenário 5	64
Figura 18 – Comparativo entre os Cenários 1 e 5.....	65
Figura 19 – Gráfico de Vazão – Cenário 6	67
Figura 20 – Gráfico de Vazão – Cenário 7	69
Figura 21 – Representação das Taxas de Perdas no Cenário 1.....	72
Figura 22 - Representação das Taxas de Perdas no Cenário 4.....	73
Figura 23 - Representação das Taxas de Perdas no Cenário 7.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rigidez dos Requisitos de QoS.....	20
Tabela 2 - Categorias de Serviços IPTV	22
Tabela 3 - Métodos de compressão e coeficiente MOS para áudio	24
Tabela 4 - Resolução e Compressão e Vídeo.....	25
Tabela 5 - Característica da Imagem UHDTV	26
Tabela 6 - Requisitos mínimos para garantir alto desempenho.	27
Tabela 7– Variações da Tecnologia DSL	30
Tabela 8 - Características de um Terminal DOCSIS	31
Tabela 9 – Características das Tecnologias EPON e GPON.....	33
Tabela 10 - Funções dos nós no cenário padrão	49
Tabela 11 – Origem e Destino dos Tráfegos.....	50
Tabela 12 - Definição de Links e suas Capacidades.....	51
Tabela 13 - Vazão e Perda de Pacotes no Cenário 1	54
Tabela 14 - Configurações de Banda - Cenário 2	56
Tabela 15 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 2	57
Tabela 16 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 4	62
Tabela 17 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 5	64
Tabela 18 – Vazão e Perda de Pacotes – Cenário 6	66
Tabela 19 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 7	68
Tabela 20 - Resumo dos Resultados das Simulações	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL	Asynchronous Digital Line Subscriber
CBR	Constant Bit Rate
DiffServ	Differentiated Services
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DVD	Digital Versatile Disk
EPON	Ethernet PON
FTP	File Transfer Protocol
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber To The Home
FTTN	Fiber to Node
GPON	Gigabit Ethernet PON
GUI	Graphical User Interface
HDTV	High Definition Television
HFC	Hybrid Fiber Coaxial
IEC	International Electrotechnical Commission
IETF	Internet Engineering Task Force
INMETRO	Instituto de Metrologia
IntServ	Integrated Services
IPTV	Internet Protocol Television
ISO	International Organization of Standardization
ITU	International Telecommunication Union
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPEG	Moving Picture Experts Group
NAM	Network Animator
NGN	Next Generation Networks
NS-2	Network Simulator

OAM	Operation, Administration and Maintenance
OTcl	Object Tcl
P2P	Peer-to-peer
PC	Personal Coputing
PCM	Pulse Cod Modulation
PON	Passive Optical Network
PSTN	Public Switching Telecommunications Network
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
Rec	Recomendation
RSVP	Resource reSerVation Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SDTV	Standard Definition TeleVision
SPF	Shortest Path First
TCL	Tool Command Language
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division multiplexing
UDP	User Datagram Protocol
UHDTV	Ultra-High Definition Television
VoD	Video on Demand

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 METODOLOGIA.....	18
1.3 ESTRUTURA FORMAL DO TRABALHO	18
1.4 TRABALHOS RELACIONADOS	19
2 REDES MULTIMÍDIA	20
2.1 IPTV – CONCEITO.....	21
2.2 IPTV – SERVIÇOS	22
2.2.1 Áudio	23
2.2.2 Vídeo	24
2.2.3 Padrões de Resolução e Compressão de Vídeo	25
2.2.4 Requisitos para prestação dos serviços	27
2.3 IPTV – ARQUITETURA.....	28
2.3.1 Provedor de Serviços (Headend)	28
2.3.2 A Rede Núcleo (Core IP)	29
2.3.3 Rede de Acesso – Tecnologias Cabeadas (Wired)	29
2.3.3.1 Variações xDSL.....	29
2.3.3.2 Cabo – HFC	30
2.3.3.3 DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification	31
2.3.3.4 Fibra Ótica	31
2.3.4 Set-Top-Box	33
2.4 PROTOCOLOS	34
2.5 FORMAS DE ENCAMINHAMENTO DE TRÁFEGO.....	36
2.6 QUALIDADE DE SERVIÇO.....	37
2.6.1 Parâmetros de QoS	37
2.6.1.1 Jitter.....	37

2.6.1.2 Latência.....	38
2.6.1.3 Perda de Pacotes.....	38
2.6.1.4 Vazão.....	39
2.7 MECANISMOS DE QoS PARA IPTV.....	39
2.7.1 Serviços Integrados.....	40
2.7.2 Serviços Diferenciados.....	41
2.7.3 Laissez-faire.....	41
2.7.4 MPLS - Multi Protocol Label Switch.....	42
2.8 QOE (QUALITY OF EXPERIENCE).....	43
3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	45
3.1 ALGUNS SIMULADORES DE REDES.....	45
3.1.1 OPnet Modeler.....	45
3.1.2 OPnet - IT Guru Academic Edition.....	46
3.1.3 Network Simulator.....	46
3.1.3.1 Extrair Resultados no Network Simulator.....	47
3.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO.....	47
4 DEMONSTRAÇÃO DAS SIMULAÇÕES.....	48
4.1 METODOLOGIA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES.....	48
4.1.1 Topologia e parâmetros a serem analisados.....	49
4.2 CENÁRIO 1.....	51
4.2.1 Execução da Simulação Cenário 1.....	52
4.2.2 Cenário 1 no NAM.....	52
4.2.3 Cenário 1 no Xgraph.....	54
4.3 CENÁRIO 2.....	55
4.3.1 Cenário 2 no NAM.....	56
4.3.2 Cenário 2 no Xgraph.....	57
4.4 CENÁRIO 3.....	59
4.4.1 Cenário 3 no NAM.....	59
4.4.2 Cenário 3 no Xgraph.....	60
4.5 CENÁRIO 4.....	60
4.5.1 Cenário 4 no NAM.....	61

4.5.2 Cenário 4 no Xgraph	62
4.6 CENÁRIO 5	63
4.6.1 Cenário 5 no Xgraph	64
4.7 CENÁRIO 6	66
4.7.1 Execução da Simulação Cenário 6	66
4.7.2 Apresentação da Vazão no Xgraph - Cenário 6	67
4.8 CENÁRIO 7	68
4.8.1 Execução da Simulação Cenário 7	68
4.9 RESUMO DAS SIMULAÇÕES	70
4.9.1 Representação Gráfica das Perdas de Pacotes	72
4.9.1.1 Taxas de Perdas no Cenário 1	72
4.9.1.2 Taxas de Perdas no Cenário 4	73
4.9.1.3 Taxas de Perdas no Cenário 7	74
5 CONCLUSÕES	76
5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS	77
5.2 TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICE A	84
APÊNDICE B	89
APÊNDICE C	95

1 INTRODUÇÃO

A relevância e a importância dos serviços baseados em telecomunicações são incontestáveis. Os avanços tecnológicos nessa área têm permitido grandes mudanças nas formas de comunicação entre as pessoas, as quais têm à disposição os mais diversos formatos de mídias e formas de transmissões.

Uma inovadora tecnologia de transmissão no formato multimídia é o conceito de IPTV (Internet Protocol Television), que veio para permitir, por um lado, que os prestadores desses serviços possam se utilizar das redes de computadores e a partir delas possam agregar outros serviços e colocarem a disposição do usuário, por outro lado, está o próprio usuário, que agora tem mais uma comodidade, onde a partir de sua tradicional TV, poderá ter controle sobre a programação, além de acesso a diversos outros serviços.

O serviço denominado IPTV, deve permitir transmissão convergente de voz, vídeo e também acesso à internet, onde todos esses conteúdos são transportados via IP (Internet Protocol), concedendo ao usuário um controle constante dos conteúdos que deseja visualizar, pois permite uma comunicação bidirecional com o provedor de serviços, podendo, por exemplo, pausar e retroceder um vídeo. (ITU-REC Y. 1901, 2009).

Uma questão importante a ser observada é que esse formato de transmissão multimídia vai exigir uma rede com requisitos bem específicos, tendo em vista que o serviço IPTV prevê a convergência de várias formas de mídias, como áudio, vídeo e dados, e é sempre um grande desafio manter a qualidade dos vídeos quando uma rede está em uso intensivo de recursos, isso devido à natureza dos pacotes em redes e em virtude de prováveis deficiências, como problemas de congestionamento, pacotes corrompidos ou pacotes descartados que podem conduzir a uma degradação da qualidade de percepção do conteúdo, pelo usuário. (MU et al, 2011).

Outra questão importante que surge é o fato da necessidade da oferta do serviço ser de tal forma que o usuário fique satisfeito desde o primeiro momento, o que é constatado a partir do grau de QoE (Quality of Experience).

Relatando pesquisa sobre a percepção da qualidade dos serviços em IPTV, Jang e Noh (2011), destacam o seguinte: a) A qualidade do serviço IPTV é resumida como

segurança, design e atendimento ao cliente, que é apoiado por fatores que permitem análise; b) A qualidade do serviço teve influência na utilidade percebida, o que influi numa possível recompra; c) Atitude, confiança e satisfação têm um efeito positivo sobre a intenção de recompra.

Considerando que o usuário final vai definir sobre se um serviço é satisfatório ou não, através dos índices de QoE, então é bem possível que uma estratégia de tentativa e erro não funcione, afinal está se tratando de competição para liderança de mercados consumidores, o que aumenta a preocupação dos prestadores de serviços no sentido de utilizar-se de vários mecanismos, seja implementando mecanismos de otimização, seja oferecendo largura de banda, tudo a fim de conquistar e manter a fidelidade de seus usuários.

Ante o contexto, a expectativa com este trabalho, é conseguir mostrar, por meio de simulação, até que ponto, a largura de banda influencia a garantia de um serviço de qualidade para o usuário, considerando para isso o sistema IPTV que combina transmissão de áudio, vídeo e dados, serviço também denominado Triple Play. Sendo utilizadas para tal, simulações de redes de computadores com o auxílio do NS-2 (Network Simulator)¹.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O Objetivo deste trabalho é apresentar a modelagem de ambientes de tráfego multimídia sobre IP, a fim de avaliar os parâmetros necessários para garantia dos serviços IPTV e sua relação direta com o aumento na largura de banda.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral deste trabalho, será necessário alcançar os

¹ NS-2 é um simulador de eventos discretos que serve de apoio para a simulação de redes de computadores. (NS-2 WIKI, 2006).

seguintes objetivos específicos:

- Analisar as possibilidades técnicas para transferência de dados multimídia em redes de computadores, focando nos serviços IPTV;
- Analisar os protocolos utilizados em transmissões Multimídia sobre redes IP, como o próprio IP (Internet Protocol), TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) e RTP (Real-time Transport Protocol);
- Analisar os parâmetros recomendados para garantia de QoS em IPTV, como por exemplo vazão, latência, jitter e perda de pacotes;
- Implementar ambiente com e sem mecanismos de QoS (Quality of Service) na presença de links providos de banda larga, para avaliar o comportamento das transmissões multimídia e realizar as devidas comparações com as métricas recomendadas por entidades como a ITU (International Telecommunication Union).

1.2 METODOLOGIA

O projeto de trabalho teve seu desenvolvimento estruturado a partir de estudos bibliográficos e a modelagem de ambiente para IPTV. Para efetuar as simulações foi utilizada a ferramenta Network Simulator, que é um simulador “open source” de evento discreto, muito utilizado no meio acadêmico para análises de redes. Como requisito para o ambiente de simulação, foi necessário a instalação do sistema operacional Linux, que no caso foi instalado sobre uma máquina virtual VMWare, a partir do Sistema Operacional Windows 7.

1.3 ESTRUTURA FORMAL DO TRABALHO

Esta monografia será apresentada em cinco capítulos. O capítulo 2 apresentará a revisão bibliográfica e conceitos fundamentais que estão envolvidos no tema, como Redes Multimídias, IPTV, QoS e QoE. O capítulo 3 apresentará justificativa para uso de simuladores e a ferramenta de simulação que será utilizada neste trabalho. No capítulo 4 será apresentado o ambiente a ser simulado e as simulações realizadas e no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões. O documento escrito será apresentado na forma

prevista no Manual Normativo de Trabalhos de Conclusão de Cursos, disponibilizado pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da UERN – SIB/UERN e Normas da ABNT.

1.4 TRABALHOS RELACIONADOS

São diversos os estudos voltados a avaliar os serviços baseados em banda larga, o que, em se tratando de serviços IPTV, essas avaliações vêm para analisar quais as arquiteturas e as melhores práticas para garantir um serviço de qualidade, tendo em vista uma tecnologia ainda em implantação.

A qualidade do vídeo em função da perda de pacotes e do jitter em uma rede IPTV é avaliada em Duque (2008).

As possibilidades e limitações relativas à prestação de serviços IPTV baseados na integração da arquitetura IMS (IP Multimedia Sub System), com a rede de acesso sem fio em banda larga WiMAX, são avaliadas por Carozza (2012).

Um proposta para a utilização de circuitos TDM (Time Division Multiplexing) emulados como alternativa de baixo custo para transmissão vídeo digital, caracterizando uma aplicação IPTV com características diferentes das usuais, foi apresentada por Sampaio (2006).

Um estudo sobre QoS para o serviço IPTV usando o protocolo SIP (Session Initiation Protocol) é apresentado por Kim et al (2007).

Neste trabalho, serão analisados quais os parâmetros que afetam diretamente a Qualidade de Serviço em IPTV, como por exemplo o jitter de pacotes, perdas de pacotes, sincronia entre áudio e vídeo. Para isso serão simulados ambientes de transmissão de dados multimídia sobre IP, com a finalidade de avaliar o efeito direto do aumento da largura de banda sobre a entrega desse serviço.

2 REDES MULTIMÍDIA

As redes multimídia são uma evolução das redes de comunicação. Como o nome sugere, as redes multimídia são redes de comunicações capazes de realizar a transmissão de múltiplos formatos de informação.

Uma questão fundamental que deve ser observada quando se trata de transmissão multimídia em redes de computadores é o fato de que o projeto inicial IP não possui nenhum protocolo de sinalização de rede, o que define o serviço de melhor esforço como um serviço sem qualquer tipo de garantia. (KUROSE, 2010).

Pelo fato de ser um serviço de melhor esforço, é necessidade implementar constantemente novas técnicas, como por exemplo a reserva de recursos ao longo do caminho para garantir QoS nas aplicações multimídias, pois a perda de pacotes não é tolerada quando se trata de transmissão de voz e vídeo em tempo real, tendo em vista afetar diretamente o conteúdo da voz e do vídeo na sua recepção. (TANENBAUM, 2003).

Sobre a rigidez em relação aos requisitos de qualidade de serviço multimídia, Tanenbaum (2003), classifica da forma disposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Rigidez dos Requisitos de QoS

Aplicação	Confiabilidade	Atraso	Flutuação (Jitter)	Largura Banda
Correio Eletrônico	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Baixa	Baixa	Média
Acesso à Web	Alta	Média	Baixa	Média
Login Remoto	Alta	Média	Média	Baixa
Áudio por Demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por Demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefone	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Vídeo conferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

Fonte: Tanenbaum (2003)

2.1 IPTV – CONCEITO

Os avanços tecnológicos nas telecomunicações permitem o desenvolvimento quase que constante de novas formas de oferecimentos de serviços e um desses serviços em plena expansão é o sistema IPTV.

As técnicas de compressão de imagem e vídeo oferecem a possibilidade de transmitir grandes quantidades de informações de forma confiável e eficiente, sendo portanto, possível a entrega de serviços antes considerados inviáveis. A utilização de serviços com alta capacidade de transmissão, transformou a convergente de dados em uma realidade nos meios de transmissão multimídia sobre IP. (TABOSA, 2010).

IPTV é uma nova tecnologia para a prestação de serviços de televisão digital sobre redes IP. Em contraste com o streaming de vídeo P2P populares, sistemas de IPTV são normalmente fechados em rede proprietária. Ele está sendo implantado por grandes provedores de telecomunicações para competir com serviço de cabo digital tradicional.

A combinação de TV, Voz e acesso à Internet é conhecido como serviço "Triple-play". Esse tipo de serviço tem algumas vantagens significativas sobre o serviço de cabo digital. Por exemplo, ele pode fazer a experiência de assistir TV mais interativa e personalizada. Também oferece Vídeo sob Demanda, no qual o usuário pode escolher filmes a partir de um banco de dados e assisti-lo no momento oportuno. (QIU, 2010).

O sistema IPTV é um formato de transmissão de sinais, da mesma forma que o VoIP, ou seja, o sistema IPTV usa o protocolo IP como base de transporte do conteúdo. (MCDONAGH et al, 2009). Este serviço conhecido como IPTV, ou televisão IP, é um conceito que representa a convergência entre as transmissões de telecomunicações, e tecnologia da informação, ou seja, é áudio, vídeo, e acesso à internet por meio do protocolo IP. (MOBIU, et al, 2012).

Conforme se apreende a partir da REC. ITU² – REC. Y.1901 (2009), o IPTV é um serviço de multimídia que engloba televisão, vídeo, áudio, texto, gráficos e dados fornecidos através de redes baseadas em IP, sendo gerenciados para suportar o nível de QoS / QoE com segurança, interatividade e confiabilidade.

² A ITU (International Telecommunication Union) é a agência das Nações Unidas especializada nas tecnologias de telecomunicação, informação e comunicação.

Por vezes aparece o uso dos termos TV via Internet e IPTV se confundem, tendo em vista que os dois modelos oferecem ao usuário praticamente os mesmos serviços através da rede IP. No entanto são serviços diferentes e uma das principais diferenças é a questão do serviço de TV via Internet necessitar de um computador para acesso aos conteúdos, enquanto no sistema IPTV, os conteúdos são acessados via TV, o que requer o uso de um decodificador do tipo Set-top-Box (STP). Outra diferença está na qualidade da imagem, a qual é bem superior no caso do sistema IPTV. (DUQUE, 2008).

2.2 IPTV – SERVIÇOS

Para Yuzer (2011), a oferta de um maior conjunto de serviços nas redes de computadores vai conseguir rentabilizar ainda mais as estruturas de redes existentes, no entanto é necessário muito planejamento para que as redes do futuro que se propõe a entregar o serviço de IPTV sejam um diferencial frente à concorrência e assim o serviço se mantenha competitivo. Segundo ele, dentro desse contexto, IPTV tem sido visualizado como tecnologia-chave na convergência de redes IP, tendo, portanto, a indústria que superar as questões técnicas de integração dos diversos serviços.

Considerando as possibilidades técnicas previstas para a infraestrutura de redes, então a oferta do serviço IPTV, vem na expectativa de ultrapassa em muito os limites da oferta tradicional, trazendo, portanto, diversos serviços como, por exemplo, vídeo, áudio, dados, entretenimento, comércio, teleconferência entre outros, como descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de Serviços IPTV

Vídeo	Áudio	Comunicação
<ul style="list-style-type: none"> - TV Aberta - Pay per view - Vídeo sob demanda 	<ul style="list-style-type: none"> - Música em Broadcasting - Música sob demanda 	<ul style="list-style-type: none"> -Telefonia - Chat / Redes Sociais - Vídeo/voz integrado. - Teleconferência
Comércio	Utilitários	Entretenimento
<ul style="list-style-type: none"> - T-Commerce - Propaganda direcionada 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento de vídeo - Automação residencial - Segurança - T-Educação 	<ul style="list-style-type: none"> - Jogos - Apostas

Fonte: Adaptado de Park (2007)

Mesmo com toda tecnologia envolvida no sistema IPTV, este ainda possui suas próprias limitações, pois todos os parâmetros necessários à transmissão dos vários tipos de serviços devem ser devidamente controlados para uma garantia do serviço.

Como o próprio nome indica, IPTV é um serviço oferecido via rede IP, a qual é uma típica rede de melhor esforço, e a garantia de QoS em uma rede IP, ainda é um grande desafio.

O tráfego de vídeo, por exemplo, pode viajar por meio de vários segmentos na Internet, sobre os quais o prestador do serviço não tem qualquer controle e isso impede que se possa garantir QoS. Basicamente o serviço oferecido via sistemas de IPTV são transmitidos via rede fechada, na qual os prestadores de serviços além de controlar todo o sistema, também controlam o número de usuários. (KUROSE, 2010)

De acordo com Tanenbaum (2003), Os parâmetros típicos da Qualidade de Serviço na camada de transporte são: a probabilidade de falha no estabelecimento da conexão, o débito efetivo, o atraso de estabelecimento da conexão, a variação de atraso (jitter), a perda de pacotes, a taxa de erros residuais, a proteção, a prioridade e a resiliência, temas estes, serão aprofundados no tópico sobre a arquitetura IPTV.

Os serviços a serem entregues são diversos, como relacionados na Tabela 2, no entanto neste trabalho, são destacados os serviços de áudio e vídeo, os quais são mais sensíveis a congestionamentos e perda de pacotes. Tendo em visto os dados são transmitidos via TCP com controles diversos, estas aplicações são menos sensíveis a atrasos, jitter e perdas de pacotes.

2.2.1 Áudio

A partir deste item, serão descritos alguns serviços que fazem parte da convergência de serviços IPTV, o que será feito iniciando pelo serviço de voz sobre IP.

A comutação em pacotes é a técnica que permite a transmissão de voz em tempo real sobre as redes IP já existentes para transportar dados, o que se diferencia das redes PSTN (Public Switching Telecommunications Network), pelo fato de ser esta, uma rede projetada especificamente para transportar voz via comutação em circuitos. (WALKER; HICKS, 2002)

Em relação à codificação de voz, existem vários padrões, os quais são sistemas extremamente técnicos, sendo apresentados resumidamente e acompanhados de suas respectivas taxas de MOS³ na Tabela 3, cujos detalhes podem ser analisados nas recomendações ITU que são identificadas pelo nome dos modelos, como por exemplo, REC. G.711, que trata dos aspectos gerais do sistema de transmissão digital.

Tabela 3 - Métodos de compressão e coeficiente MOS para áudio

Método de compressão	Taxa de bits (Kbps)	MOS
G.711 PCM	64	4,1
G.729 CS-ACELP	8	3,92
G.729 x 2 encoding	8	3,27
G.729 x 3 encoding	8	2,68
G.729a CS-ACELP	8	3,7

Fonte: (CRUZ, 2013)

A rede IP convencional é orientada a dados, no entanto, esta, também pode suportar múltiplas aplicações baseadas em voz e vídeo.

Como já mencionado, os prestadores de serviço vislumbram sempre novas oportunidades, e no caso do VoIP (Voz on IP), surge a possibilidade de serviços mais baratos e isso sobre uma infraestrutura já posta.

2.2.2 Vídeo

A proposta do sistema IPTV é oferecer serviços de vídeo que englobam duas grandes categorias que são broadcast e vídeo armazenado.

O serviço de vídeo em broadcast é o serviço de vídeo convencional oferecido pela TV aberta ou na TV por assinatura, os quais se baseiam em canais de grande propagação.

Os vídeos sob demanda ou armazenados assumem algumas variantes e possuem grande diferencial, pois possibilitam uma grande comodidade ao usuário final, quando

³ A MOS (Mean Opinion Score) refere-se a um parâmetro utilizado para medir o nível de opinião médio do usuário sobre um determinado serviço. (ITU-T. REC P.800.1, 2006).

permite grande interatividade, sendo possível a escolha daquilo que prefere assistir e quando, permitindo ainda ao usuário ter a mesma experiência de personalização quando no uso de um DVD ou Videocassete, com o controle de parar, retroceder ou avançar, o que requer uma demanda por uma infraestrutura de banda larga robusta para permitir uma QoE (Quality of Experience) agradável. (NETO, 2009).

2.2.3 Padrões de Resolução e Compressão de Vídeo

Existe uma série de padrões para codificação de áudio e vídeo e a entrega desse conteúdo por meio de uma rede IP. Atualmente os padrões de compressão recomendados pela da ITU e ISO (International Organization for Standardization) e IEC (International Engineering Consortium) estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resolução e Compressão e Vídeo

Padrões	Aplicação	Bit/Rate	Resolução (Pixels x linha)	Padronização	Ano
H.261	Áudio/Vídeo (Teleconferência) em ISDN	P * 64 Kbps 384 Kbps - 2 Mbps	176x144 ou 352x288	ITU-T	1990
H.263	Vídeo Conferência	28.8 - 768 Kbps	352x288	ITU-T	1997
MPEG-1	Vídeo digital armazenado	400 Kbps – 1.5 Mbps	352x240 ou 352x288	ISO/IEC	1991
H62/ MPEG-2	Transmissão Digital TV- DVD	1.5-15 Mbps	720x480	ITU-T / ISO	1994
H.264/ MPEG-4 (AVC) – V	Convergência de Aplicações	30 Kbps – 600Mbps	352x288 até 1920x1080	ITU-T / ISO / IEC	2003
H.264/ MPEG-4 (SVC)	Convergência de Aplicações	30 Kbps – 600Mbps	352x288 até 1920x1080	ITU-T / ISO / IEC	2007

Fonte: (MUSHTAQ, 2008)

Como bem delineado por Mushtaq (2008), existem vários tipos de compressão para áudio e vídeo como também variáveis níveis de resolução, sendo que cada tipo de aplicação possui um requisito mínimo que é representado por um parâmetro, o qual, se atendido não deve comprometer a qualidade do serviço para o usuário, preservando portanto a QoE.

Na Tabela 4 acima é possível se observar vários padrões de resolução de vídeo, os quais exigem maior bit-rate tanto quando maior for sua resolução e tanto quanto for menor o nível de compressão. Sobre esse ponto, é importante destacar que os padrões de qualidade de imagem avançam, como é o caso do padrão de resolução de vídeo UHDTV (Ultra-High Definition Television) proposto pela Recomendação ITU-R BT.2020, de agosto de 2012, que prevê as novas resoluções para vídeo, constantes na Tabela 5.

Tabela 5 - Característica da Imagem UHDTV

Parâmetros	Valores	
Aspecto da Imagem	16 : 9	
Pixels (horizontal x Vertical)	4K	8K
	3 840 × 2 160	7 680 × 4 320
Proporção de Pixel	1 : 1 (pixels quadrados)	

Fonte: Adaptado da REC. ITU-R BT.2020 (2012)

Todos os Codec desenvolvidos têm uma taxa de compressão específica. Por exemplo, uma compressão MPEG-4/ H.264 exige que a rede tenha uma largura de banda bem inferior se comparado a uma compressão MPEG-2, o que se deve ao fato de que MPEG-4 ter uma taxa de compressão bem superior.

No caso da resolução UHDTV, o padrão de codificação é H.265, a qual representa uma evolução das codificações de vídeo já existentes. (REC. ITU-T H.265, 2013).

Cada tecnologia de compressão vai exigir uma infraestrutura de rede diferente para que um serviço seja entregue com um mínimo de qualidade.

As redes para transmissão Triple Play exigem requisitos de QoS, como largura de banda, controle em relação a perda de pacotes e também controle de atrasos e variação dos atrasos na rede IP. Já ficou claro que o serviço Triple Play pretende oferecer ao usuário, uma convergência de vários serviços e cada um desses serviços possuem seus próprios requisitos mínimos que devem ser atingidos para que se possa oferecer um serviço de qualidade, pois a QoS só será mantida quando valores mínimos pré-estabelecidos não forem ultrapassados.

Os requisitos de QoS que os serviços de Dados, Áudio e Vídeo tem em comum são a baixa perda de pacotes e a necessidade da disponibilidade de elevadas larguras de banda na rede, portanto, ao configurar a qualidade de serviço em uma rede triple-

play, os provedores de serviço podem otimizar a largura de banda e latência de rede e evitar instabilidade nos dados, voz e serviços de vídeo que oferecem aos assinantes.

Diante da exposição feita, vê-se que as tecnologias estão quase sempre se valendo de algum mecanismo para fazer com que parâmetros já bem definidos sejam mantidos nas redes, a fim de que seja garantida uma boa qualidade de serviço ao usuário.

2.2.4 Requisitos para prestação dos serviços

Para os diversos serviços possíveis de serem prestados pelo sistema IPTV, devem-se observar diversos parâmetros, entre eles estão vazão, jitter e taxa de perdas, os quais são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Requisitos mínimos para garantir alto desempenho.

Aplicação	Codificação	Definição	Bit Rate Mínima	Latência	Jitter	Taxa de perdas de pacotes
Vídeo	MPEG-2	HDTV 1920 x1080	15 Mbps	200 ms	50 ms	< 1%
Vídeo	MPEG-4	HDTV 1920 x 1080	10 Mbps	200 ms	50 ms	< 1%
Áudio	(AC-3) 5.1 com 5 canais stereo		384 Kbps	150 ms	50 ms	< 1 %
	Double Digital com 2 canais stereo		192 Kbps	150 ms	50 ms	< 1 %
Dados	-		> 0	Insensível	Insensível	< 3 %

Fonte: (HENS e CABALLERO, 2008; ITU-T IPTV Focus Group, 2008).

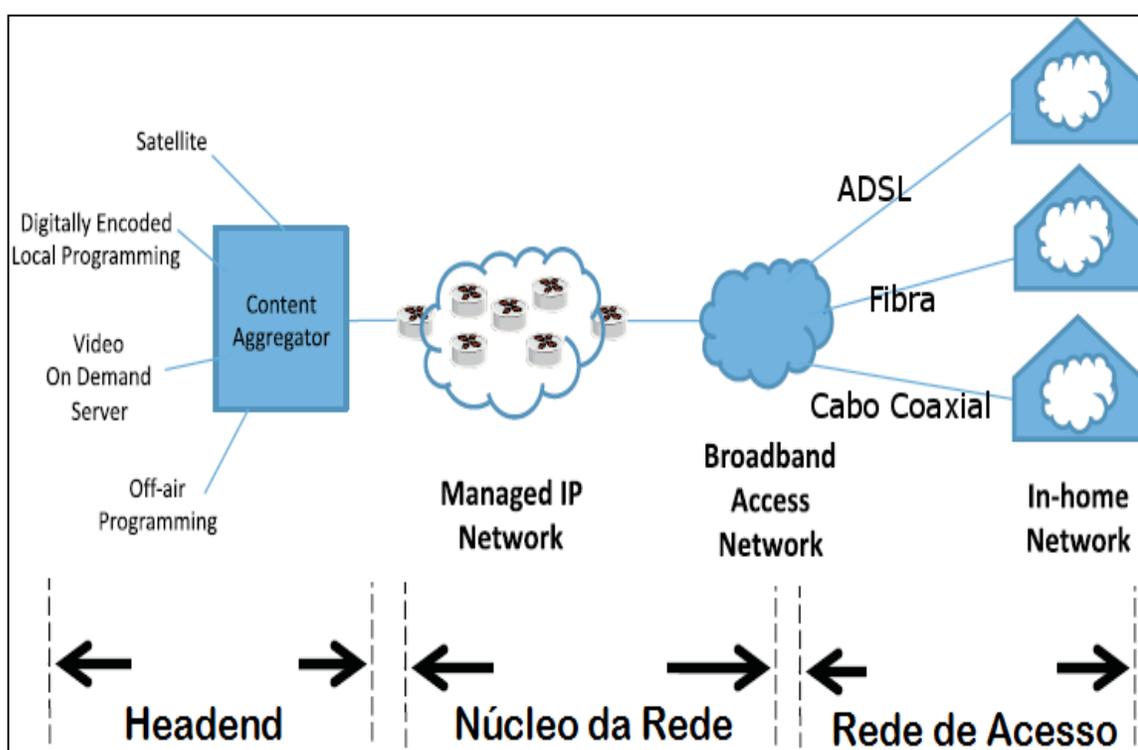
As Recomendações ITU fazem várias análises sobre vários parâmetros em relação à perda, jitter e atraso, isso de acordo com cada resolução de vídeo e áudio que se deseja transmitir, enfatizando a vazão necessária à transmissão, e também o fato de que estes parâmetros são constantemente atualizados, tendo em vista as melhorias nos mecanismos de codificação e as melhorias nas resoluções de vídeo.

Outros formatos de compactação com suas referentes taxas de bits são exaustivamente explicados nas recomendações ITU, especificamente na Recomendação ITU-T-IPTV Focus Group (2008).

2.3 IPTV – ARQUITETURA

Mesmo existindo diversos formatos para se implementar uma arquitetura para IPTV, pode-se definir genericamente alguns componentes básicos desse sistema, os quais são comuns a qualquer das arquiteturas que venha a ser implementada. Essa arquitetura é formada por quatro componentes que são o Provedor de Serviços, a Rede Núcleo e a Rede de acesso, o que pode ser observado na Figura 1.

Figura 1– Arquitetura Padrão IPTV



Fonte: Martins; Junior (2013)

2.3.1 Provedor de Serviços (Headend)

Headend é a parte que funciona como servidor dos diversos tipos de mídias, o qual mantém conexões com operadoras de TV convencionais, para transmissão de programas ao vivo e todos os demais formatos de informações de desejo transmitir. O

headend possui vários componentes que podem variar de rede para rede, incluindo fontes de vídeo analógico e digital, provedores de conteúdo, codificadores/decodificadores para adaptar as taxas de streaming, switches, servidores para softwares de vídeo e de aplicação, servidores de gerência e outros. Além do que, é no headend, que o vídeo é codificado (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4) e processado, sendo depois entregue ao backbone IP, e distribuído aos usuários. (DUQUE, 2008)

2.3.2 A Rede Núcleo (Core IP)

Aqui está uma importante parte de toda essa arquitetura, a rede IP. A qual para suportar os serviços IPTV deve ter seu Backbone IP baseado em canal de transmissão de alta velocidade, preparadas para suportar grande fluxo de transmissão de vídeo, áudio e dados e de forma que garantam QoS que reflète em uma QoE aceitável pelo usuário. (DUQUE, 2008).

2.3.3 Rede de Acesso – Tecnologias Cabeadas (Wired)

As redes de acesso com fio para última milha se apresentam em diversos formatos, onde cada uma tem sua aplicação específica, as quais fazem parte da abordagem deste trabalho.

Entre as tecnologias estão as tecnologias xDSL, variantes da (Digital Subscriber Line). As redes em fibras ópticas FTTx (Fiber To The x) com suas variantes e as redes ópticas passivas xPON, variantes da (Passive Optical Network) (ALLIED-TELESYN, 2004).

2.3.3.1 Variações xDSL

DSL (Digital Subscriber Line) tem algumas variantes, sendo que a mais utilizada é o ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), chegando a competir com a transmissão via cabo. A conexão em banda larga de alta velocidade do ADSL permite aos provedores agregarem alguns serviços como VoIP através das linhas telefônicas convencionais.

Conforme destaca Nunes (2006), a tecnologia xDSL com suas variantes pode oferecer taxas downstream entre 8 e 100 Mbps, e para upstream entre 1 e 100 Mbps, isso respeitadas as distâncias máximas, como se pode observar na Tabela 7, onde são descritos as diferentes variações xDSL.

Tabela 7– Variações da Tecnologia DSL

xDSL	Vazão Downstream (Mbps)	Vazão upstream (Mbps)	Distância Máxima	Tipo de serviço suportados
ADSL	8	1	5,5 Km	1 canal de Vídeo SD (MPEG-2)
ADSL2	12	1	5,5 Km	2 canais SD ou 1 canal HD (MPEG -2)
ADSL2+	25	1	1,5 Km	5 canais SD (MPEG-2) ou 2 canais HD (MPEG-4)
RE-ADSL	25	1	6 Km	5 canais SD (MPEG-2) ou 2 canais HD (MPEG-4)
VDSL 1	55	15	Centenas de metros	12 canais SD (MPEG-2) ou 5 canais HD (MPEG-4)
VDSL 2 (Longo)	30	30	1,2 até 1,5 Km	7 canais SD (MPEG-2) ou 3 canais HD (MPEG-4)
VDLS 2 (Curto)	100	100	350m	20 canais SD (MPEG-2) ou 10 canais HD (MPEG-4)

Fonte: (O'DRISCOL, 2008)

2.3.3.2 Cabo – HFC

Com a possibilidade de agregar novos serviços às redes a partir do sistema IPTV, se faz necessário agregar investimentos para que estas redes possam suportar as novas cargas de transmissão de informações.

Segundo O'Driscoll (2008), a tecnologia híbrida HFC (Hybrid Fiber Coaxial), ou seja,, a união entre fibra e cabo coaxial é a ideal para as redes NGN (New Generation Network), nas quais estão incluídas as redes IPTV. Esta tecnologia tem as características de ser expansível, transmitir simultaneamente sinais analógicos e digitais e apresentarem grande confiança, além de suportar altas taxas de transferência.

2.3.3.3 DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification

É o método padrão utilizado para transportar dados através da rede híbridas HFC (ITU-T J.112, 2008). Estas redes DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) foram originalmente concebidas para transportar o tráfego de Internet de alta velocidade em redes de área ampla. As especificações têm evoluído ao longo dos anos, a última versão do DOCSIS fornece capacidade suficiente para apoiar a prestação de serviços IPTV, em redes HFC. Na Tabela 8 é apresentada uma visão geral dessa tecnologia.

Tabela 8 - Características de um Terminal DOCSIS

Padrão DOCSIS	Vazão downstream (Mbps)	Vazão upstream (Mbps)	Faixa de Frequência Downstream (Mhz)	Faixa de Frequência Upstream (Mhz)	Suporte a IPv6
DOCSIS 1.0	40 e 55	10	50 – 750	5 – 42	Não
DOCSIS 1.1	40 e 55	10	50 – 750	5 – 42	Não
DOCSIS 2.0	40 e 55	30	88 –870	5 – 42	Não
DOCSIS 3.0	160	120	88 –1002	5 – 42	Sim

Fonte: (O'DRISCOL, 2008)

É perceptível que a transferência de dados através dessa tecnologia pode chegar a 160 Mbps para downstream com a versão 3.0. Considerando, por exemplo, um conjunto de mídias sendo transferidas em simultâneo, e cada uma ocupando 10Mbps, pode-se garantir uma média de 16 pontos de acesso.

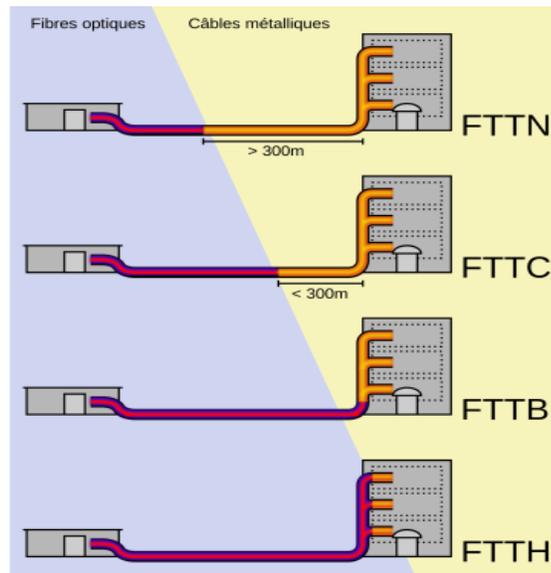
2.3.3.4 Fibra Ótica

Genericamente, FTTx é a designação para as redes de fibra óptica que segue até um local específico de recepção ou nas suas proximidades, onde 'x' é utilizado para indicar essa variedade de locais possíveis em que pode chegar a rede de fibra ótica.

A partir da Figura 2, são identificadas as variações da tecnologia de rede em Fibra Ótica. O FTTN (Fiber to the Node), se refere a um sistema de fibra que chega até um ponto de distribuição de um bairro, por exemplo, um ponto que vai atender a vários edifícios, com a terminação baseada em xDSL, Cobre Coaxial ou até mesmo sem fio.

O FTTC (Fiber To The Curb), se refere a uma distribuição em fibra bem semelhante a FTTN, no entanto com menor cobertura que àquela.

Figura 2 – Diagrama de Rede em Fibra



Fonte: Riick (2010)

O FTTB (Fiber To The Building) se refere a uma rede de fibra que chega até a um determinado edifício e sua terminação é feita com rede de cobre. Por fim o FTTH (Fiber To The Home) que se refere a uma rede de fibra óptica que vai até o cliente final, o que possibilita altíssimas velocidades e permite que sejam fornecidos os mais diversos serviços, entre eles os serviços IPTV convergentes. (TABOSA, 2010).

São diversas as tecnologias existentes, as quais podem ser utilizadas de forma individual ou em conjunto, sempre buscando atingir um único objetivo, que é conseguir uma QoE elevada, pois é esse parâmetro que vai definir se realmente um serviço está sendo oferecido com a devida qualidade.

Neste trabalho é destacada a necessidade de elevadas larguras de banda para o serviço IPTV. Assim, a Fibra Ótica é o indicado para uma infraestrutura que se propõe a

oferecer serviços de altíssima qualidade, além disso, tem o fato de que a tecnologia está sempre permitindo que sejam agregados mais serviços a cada dia. Por outro lado, considerando os serviços existentes atualmente, nada impede que uma boa adaptação de tecnologias seja utilizada a fim de prestar esse serviço, como por exemplo a tecnologia DOCSIS que combina Fibra e Cobre ou até mesmo ADSL.

A seguir será mostrado um resumo das diferenças entre os dois conjuntos de tecnologias que se propõem a levar aos usuários as maiores velocidades e larguras de bandas, podendo chegar a faixa dos Gbps, os quais são EPON (Ethernet Passive Optical Network) e GPON (Giga Passive Optical Networks). Ver Tabela 9.

Tabela 9 – Características das Tecnologias EPON e GPON

Ítem em Análise	Tecnologia	
	IEEE 802.3 1h – EPON	ITU-T G.984 - GPON
Taxa fluxo descendente	1.25 Gbps	2.488 Gbps
Taxa fluxo ascendente	1.25 Gbps	155 Mbps até 2.488 Gbps
OAM	Opcional. Dá suporte para informações de falhas, loopback	Obrigatória. Apoio total para implantação do serviço
Segurança	Não faz parte da norma	Usa AES no fluxo descendente
Transporte TDM	Emulação de Circuitos	Via GEM
Interfaces de Acesso	10/1000 Ethernet	ATM, Vído analógico, TDM e 10/100 Ethernet, POTS.
Interfaces de Rede	Ethernet	ATM, TDM, Ethernet
Número de OTNs	16, 32	21, 64, 128

Fonte: Carvalho (2009).

2.3.4 Set-Top-Box

Independente da rede utilizada na última milha para distribuição do serviço IPTV, vai ser necessária a conexão com um conversor STP (Set-top-box) que é o equipamento para conectar à rede externa ao televisor e converter o sinal em um formato capaz se ser apresentado na tela. Ver Figura 3, abaixo.

Figura 3 - Modelo de Set-Top-Box



Fonte: ENTONE - Connecting the Home⁴

2.4 PROTOCOLOS

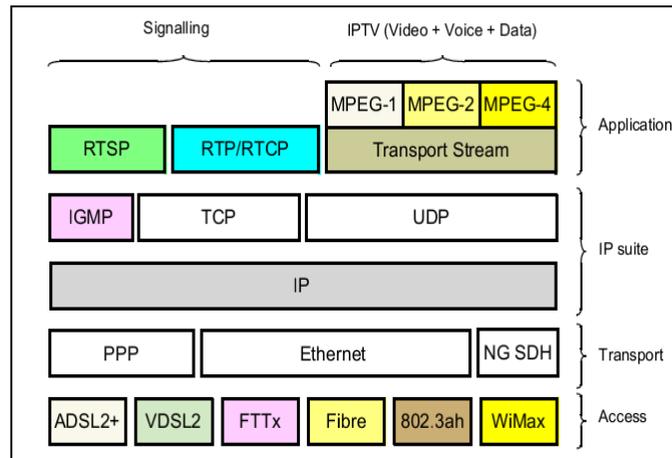
A rede IP é organizada em camadas e cada uma possui seus protocolos que são padrões para possibilitar a comunicação. Segundo Tanenbaum (2003), uma lista de protocolos usados por um determinado sistema, em cada camada, é chamada pilha de protocolos.

Passaremos a descrever os principais protocolos utilizados nas transmissões multimídia e conseqüentemente nos serviços IPTV, os quais são implementados nas camadas de aplicação, transporte e rede e cuja pilha é mostrada por Caballero (2007), em destaque na Figura 4, abaixo.

Na camada de rede, se utiliza do protocolo IP (Internet Protocol) que tem a função de ligar um emissor a um receptor através de um endereço, e é baseado na transferência de pacotes de dados.

⁴ A Entone é uma empresa que desenvolve soluções para IPTV e outros formatos de multimídia com sede na Califórnia e escritórios na Europa, Hong Kong e China. Com endereço eletrônico < <http://www.entone.com/> >.

Figura 4– Pilha de Protocolos para IPTV



Fonte: Caballero (2007)

Na camada de transporte, os principais protocolos são o TCP (Transfer Control Protocol) e UDP (User Datagram Protocol), os quais são utilizados para transferência de dados, voz e vídeos na rede IP (TANENBAUM, 2003).

As aplicações de áudio e vídeo são transportadas via UDP, pelo fato deste protocolo ser mais simples, e por não se preocupar com controle de congestionamento nem com garantia de entrega, tornando as transmissões mais rápidas, mesmo que possa causar degradação da qualidade de serviço, tendo em vista a inexistência de controle de erros. (KUROSE, 2010).

Ainda de acordo com Kurose (2010), os protocolos RTP (Real-time Transport Protocol) e o RTCP (Real-Time Control Protocol), são utilizados em complemento do protocolo UDP, servindo para adicionar a este, um número de sequência que vai permitir ao receptor um maior controle em relação às perdas e atrasos de pacotes nas aplicações em tempo real.

O Protocolo IGMP (Internet Group Management Protocol) é utilizado na distribuição dos canais de televisão. Ligando utilizadores a um fluxo multicast e é responsável pela mudança entre fluxos de canais de televisão.

O protocolo SIP (Session Initiation Protocol) é utilizado para estabelecer chamadas e indicar uma mudança ou término de uma sessão em uma rede IP, isso é feito independentemente do tipo de mídia usada durante a sessão, podendo inclusive usar vários tipos de dados. (IETF RFC 3265, 2002).

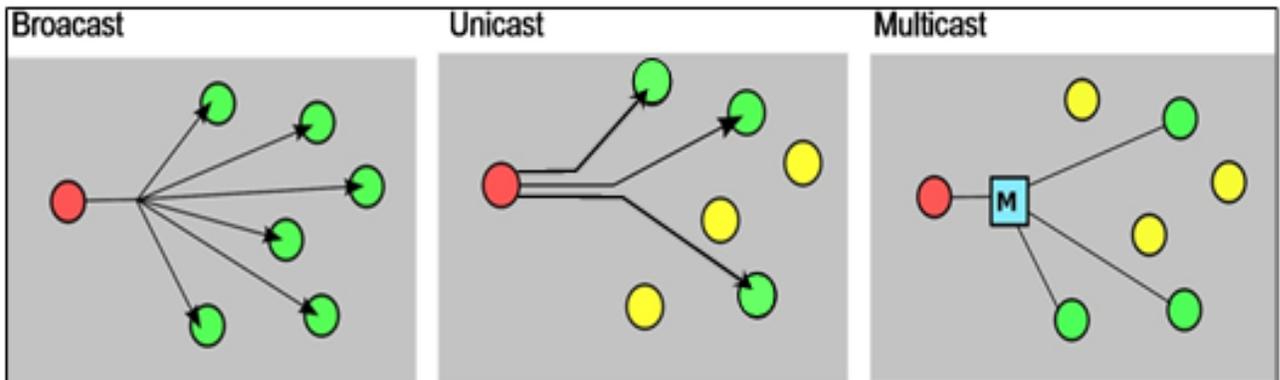
Todos os demais protocolos utilizados para IPTV são criteriosamente detalhados na Rec. ITU-T IPTV Focus Group de 2008.

2.5 FORMAS DE ENCAMINHAMENTO DE TRÁFEGO

Em se tratando de encaminhamento de informações nas redes IP, existem três formatos de encaminhamentos que são broadcast, unicast e multicast. Ver Figura 5.

Quando ocorre o encaminhamento em broadcast, o sistema lança as informações para todos os receptores existentes na rede, fazendo uma inundação de dados, o que pode ocasionar em um processamento desnecessário por parte dos equipamentos receptores, pois mesmo não tendo solicitado as informações, ainda assim, estas irão chegar.

Figura 5 – Formas de Encaminhamento



Fonte: (SANDVIG, 2009)

No caso do unicast, ocorre que uma cópia é enviada a um único usuário, ou seja, para cada pedido, o servidor cria um link e encaminha uma cópia, exigindo grandes quantidades de tráfegos para poder atender a todos os pedidos.

O encaminhamento multicast faz a utilização do que há de melhor nas práticas existentes nos dois outros métodos, pois apenas uma cópia dos dados é enviada para todos os clientes que solicitaram. Ou seja, nem são enviadas informações indesejadas, nem são repetidas as informações que são igualmente solicitadas, o que criaria uma redundância de informações. (TANENBAUM, 2003).

A Rede IPTV suporta o transporte de tráfego multicast e o seu controle de admissão para QoS. Neste sistema de controle de admissão do multicast, o transporte do fluxo é alocado ao usuário, onde a função de replicação do fluxo é feita de acordo com as solicitações, encaminhando o fluxo apenas a quem solicitou, o que ocasiona um controle bem sucedido dos recursos disponíveis, colaborando diretamente para a qualidade dos serviços IPTV. A replicação de sequências de vídeo é uma das funções essenciais do multicast. Os Pontos de Replicação (PRs) dentro da rede IPTV são importantes porque interfere diretamente na utilização da banda, pois evitam a redundância de informações. (REC. ITU-T IPTV FOCUS GROUP, 2008).

2.6 QUALIDADE DE SERVIÇO

A Qualidade de Serviço pode ser definida a partir de parâmetros específicos necessários para uma determinada aplicação do usuário. Estes parâmetros de serviços podem ser definidos em termo de largura de banda, latência e jitter, de forma que a aplicação possa usar os recursos necessários ao longo de toda a rede.

QoS é a totalidade das características de um serviço de telecomunicações que determinam sua capacidade para satisfazer as necessidades do usuário de um serviço. Assim, deve-se analisar QoS nas telecomunicações por meio de alguns fatores, como QoS Oferecida, QoS Proporcionada e QoS Experimentada (ITU-T, REC E.800, 2008).

Duque (2008), chama atenção para a importância de se destacar alguns parâmetros que afetam a QoS na rede IPTV. Dentre eles destacam-se: Jitter, latência, perda de pacotes e a vazão, os quais são apresentados a seguir.

2.6.1 Parâmetros de QoS

2.6.1.1 Jitter

O Jitter pode ser entendido como a variação no tempo e na sequência de entrega das informações (pacotes) devido à variação na latência (atrasos) da rede. O jitter é importante para as aplicações executadas em rede cuja operação adequada depende de

alguma forma da garantia de que as informações (pacotes IPTV) devam ser processadas em períodos de tempo bem definidos. Do ponto de vista de uma rede IP.

2.6.1.2 Latência

De maneira geral, a latência da rede pode ser entendida como a somatória dos atrasos impostos pela rede e pelos equipamentos utilizados na comunicação. A latência é o tempo que blocos de informação levam para percorrer a rede até seu destino.

Uma infraestrutura de acesso à Internet que tenha problemas com latência prejudica, por exemplo, a navegação na Internet (INMETRO, 2010).

Nas redes de comutação de pacotes, os problemas de atraso, jitter e perda também devem ser tratadas. No entanto, para as aplicações de transmissão de vídeo, as variações de atraso (jitter) geralmente estão sendo solucionadas através de um buffer no STB (set-top Box) nas instalações dos usuários. O buffer de jitter acrescenta atraso no intervalo entre 100 a 500 ms para remover a variação de tempo de chegada. Por outro lado, a perda de pacotes é um problema mais sério, pois a qualidade do vídeo degrada seriamente com esse problema, bem como com as informações MPEG perdidas. (DSL-FORUM, 2006).

2.6.1.3 Perda de Pacotes

A perda de pacotes tem influência na qualidade de serviço, e pode causar o estouro de buffers em roteadores e switches. No caso do vídeo, por utilizar protocolos UDP e RTP, esses pacotes não podem ser retransmitido, por isso a retransmissão não é tolerável em aplicações IPTV.

A perda de pacotes acima de um determinado patamar causa principalmente degradação em serviços multimídia, como serviços de vídeo na Internet. O efeito final é a perda de parte de cenas do vídeo transmitido e ou congelamento de cenas em casos mais severos. A grandeza será medida pela percentagem de pacotes UDP recebidos, considerando o número total de pacotes UDP enviados. (INMETRO, 2010).

2.6.1.4 Vazão

A vazão (banda) é o parâmetro mais básico e mais importante para oferecer QoS, sendo necessária para a operação adequada de qualquer aplicação. Em termos práticos, as aplicações geram vazões que devem ser atendidas pela rede. Para cálculos de QoS deve ser considerado o valor de pico.

Vale ressaltar que para os serviços IPTV, a vazão necessária vai depender dos serviços agregados ao pacote, no entanto, para que se tenha um serviço IPTV, deve-se ter pelo menos vídeo ao vivo, vídeo por demanda, áudio e acesso à internet.

Para garantia de vazão, as redes de acesso podem ser constituídas por combinações de cobre, fibra ótica ou elementos de rede sem fios fixas. Por exemplo, para se oferecer um serviço de vídeo com 2 canais de vídeo SDTV e 1 canal HDTV, além de acesso a internet, dados e voz, são necessários um mínimo de 12 a 24 Mbps de vazão. (DSL-FORUM, 2006).

2.7 MECANISMOS DE QoS PARA IPTV

Segundo o que foi relatado neste trabalho até este ponto, levando-se em consideração as diversas recomendações e análises de diversos especialistas e as diversas métricas necessárias para se garantir QoS, como por exemplo, vazão, latência, jitter e perda de pacotes, se faz necessário analisar agora, quais os meios possíveis para se alcançar essas metas.

Para Kurose (2010), existem três filosofias básicas para implementar QoS na Internet, que são os Serviços Integrados, os Serviços Diferenciados e a filosofia Laissez-faire.

Neste trabalho, serão analisados os mecanismos acima citados e mais a tecnologia MPLS, a qual, apesar de não ser considerada mecanismo de QoS propriamente dito, no entanto, permite um rígido gerenciamento da rede, facilitando a otimização do tráfego.

2.7.1 Serviços Integrados

O modelo de Serviços Integrados é uma arquitetura serviços para redes IP de melhor esforço. Este modelo pressupõe que todas as operações na rede devem basear-se em uma infraestrutura de rede comum, montadas a partir de roteadores e uma pilha de protocolos unificada, sendo que muitos protocolos podem coexistir acima ou abaixo da camada de rede. (KUROSE, 2010).

Para Kurose (2010), em princípio a abordagem de rede de forma unificada torna mais eficiente e mais fácil a administração dos recursos da rede, no entanto, em se tratando de uma rede de melhor esforço (Faz o possível para entregar, mas não garante), para torná-la viável a um tráfego de multimídia em tempo real, onde os dados são bastante sensíveis a congestionamentos, perdas e atrasos de pacotes, deve-se armazenar alguma informação nos roteadores intermediários, como por exemplo informações para reservar largura de banda suficiente para transporte de uma determinada informação.

O RSVP (Resource ReserVation Protocol) é o principal protocolo da IETF (Internet Engineering Task Force), para reserva de recursos em uma rede de melhor esforço, definido pela RFC 2205, o qual permite que vários transmissores enviem os dados para vários grupos de receptores, tornando possível que receptores individuais mudem livremente de canais, otimizando o uso da largura de banda e ao mesmo tempo elimina o congestionamento (TANENBAUM, 2003).

Para Tanenbaum, (2003) o modelo de serviços integrados tem possibilidade de oferecer boa qualidade de serviço a um ou mais fluxos, por reservarem recursos ao longo de toda a rota. Porém este modelo tem a desvantagem de funcionar com configurações antecipadas para garantir um fluxo futuro, e esta técnica não funciona bem na existência de milhares ou milhões de fluxos.

Se já definido que esta técnica não funciona bem em milhões e milhões de fluxos, logo não é o mais indicado para os serviços IPTV, pois segundo Lee (2006) existe algumas limitações, como por exemplo, a enorme quantidade de informações que devem ser guardada sobre os estados de cada serviço e em cada um dos componentes da rede, que se apresenta em uma enorme quantidade, o que exige um grande espaço de

armazenamento, podendo gerar sobrecarga no processamento dos diversos encaminhamentos.

2.7.2 Serviços Diferenciados

Segundo Kurose (2010), foi considerando as possíveis dificuldades para a implementação do RSVP nos serviços integrados, que então a partir de 2008, foram definidas pelo IETF (Internet Engineering Task Force) as RFCs 2474 e 2475, que definem os serviços e a arquitetura para os serviços diferenciados, respectivamente.

A arquitetura dos serviços diferenciados é um padrão para implementação escalável de serviços da Internet, tendo em vista que este mecanismo é capaz de diferenciar pacotes por meio da marcação dos mesmos a partir de cada classe de serviço a ser fornecido ao usuário. Uma característica fundamental do mecanismo DiffServ (Differentiated Services) é a escalabilidade, podendo ser alcançada por meio de agregação de fluxos e da separação das funções dos roteadores (borda e núcleo), em grandes redes de backbone. As redes que implementam DiffServ recebem o nome de Domínios DS. Estes domínios negociam garantias mínimas de QoS. (NICOLAS et al, 1998).

Segundo Tanenbaum, o DiffServ pode ser oferecido por um conjunto de roteadores que formam um domínio administrativo (por exemplo, um ISP ou uma empresa de telecomunicações), onde são definidas classes de serviços com regras específicas de encaminhamento. Quando um cliente faz uma assinatura DS, por meio de um acordo de nível de serviço, então os pacotes desse cliente entram em um domínio, sendo fornecido um serviço melhor para determinadas classes.

2.7.3 Laissez-faire

Laissez-faire é uma expressão francesa que significa “deixai passar”. Explica Kurose (2010), que essa filosofia se caracteriza por não prevê mudanças importantes em uma infraestrutura de rede, a fim de garantir qualidade de serviços multimídia, prevenindo

apenas a necessidade de maior largura de banda e a distribuição de conteúdo em multicast na camada de aplicação.

A proposta deste trabalho está bem relacionada a esta filosofia, pois consta de várias simulações a fim de mostrar a relação direta entre o aumento na largura de banda de uma rede e a elevação na qualidade do serviço, sem a necessidade de implementação de várias tecnologias.

2.7.4 MPLS - Multi Protocol Label Switch

A especificação MPLS (Multi Protocol Label Switching) está prevista da RFC-3031 de janeiro de 2001, do IETF (Internet Engineering Task Force). Estas especificações se destinam a melhoramentos de encaminhamentos nas redes de telecomunicações,

Considerando que um pacote de camada de rede IP convencional viaja de um roteador à outro, fazendo encaminhamentos independentes. Ou seja, cada roteador analisa um cabeçalho e em seguida executa um algoritmo de roteamento para encaminhá-lo ao seu destino, então os cabeçalhos dos pacotes detêm muitas informações e com isso exige grande processamento dos roteadores para leitura (TANENBAUM, 2003).

Ainda segundo Tanenbaum (2003), a proposta MPLS está ligada basicamente à engenharia de tráfego, pois os roteadores serão capazes, não somente de recuperar a rede em caso de uma ruptura de link, mas também permite que o administrador de rede implemente a escolha de rotas diferentes no caso da rede ficar congestionada.

No MPLS, o pacote, ao entrar na rede, recebe o rótulo onde é determinado a que FEC (Forwarding Equivalence Class) ele pertence, e isso acontece uma única vez. O pacote então é codificado com um valor fixo e este valor o segue em todos os seus saltos identificando sua classe de equivalência, com isso o cabeçalho original já não precisar ser lido a cada salto, e sim será lida apenas o rótulo que possui uma tabela de saltos. A cada salto o rótulo antigo é substituído e encaminhado ao próximo salto. (IETF RFC-3031, 2001).

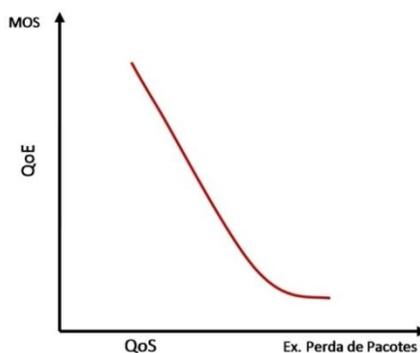
O MPLS permite o estabelecimento de tipos especiais de circuitos virtuais chamados LSP (Label Switched Paths) nas redes IP. Graças a este recurso, é possível implementar mecanismos de gestão de recursos de QoS em uma base LSR (Label Switched Routers), ou para implantar ferramentas de engenharia de tráfego avançadas que proporcionam ao operador um controlo rígido sobre o caminho dos pacotes dentro da rede. Tanto a provisão de QoS e engenharia de tráfego avançado são difíceis, se não impossíveis de resolver em redes IP tradicionais. (HENS e CABALLERO, 2008).

Vê-se que a engenharia de tráfego é o grande potencial da tecnologia MPLS, permitindo que o gerenciador tenha um alto grau de controle sobre o comportamento da rede, controle este que a rede IP convencional não permite.

2.8 QOE (QUALITY OF EXPERIENCE)

A recomendação do DSL Forum (2006) faz referência aos requisitos a serem observados para a Qualidade de Experiência nos serviços de IPTV. A relação entre QoS e QoE pode ser vista na Figura 6, destacando-se que essas métricas são auto excludentes. A inexistência de uma provoca a inexistência da outra.

Figura 6 – Relação QoE para QoS



Fonte: Adaptação de DSL-FORUM (2006)

Segundo consta na Rec. ITU-T – IPTV Focus Group (2008), os requisitos de QoE são definidos a partir de uma perspectiva do usuário final e servem como diagnóstico para arquiteturas de rede e protocolos de transporte. Ou seja, os requisitos de QoE são especificados a partir de informações colhidas junto ao usuário final e vão definir como

devem ser os padrões da rede de transportes, pois são elaborados para satisfação do usuário.

Pode-se afirmar que uma QoE satisfatória depende do monitoramento de toda a infraestrutura de rede e seus diversos mecanismos, como por exemplo, o roteamento, os tráfegos, a vazão e todos os demais parâmetros em uma rede IP, em relação a QoS.

3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Os sistemas de redes de computadores crescem de forma bastante acelerada, tornando-se mais complexos. Por outro lado, o aumento de demanda por tráfego de informações é constante, pois a cada dia cresce o número de usuários conectados e lógico que cresce a quantidade de dados trafegados. Com isso, são frequentes as expansões das redes existentes, para que assim, possam atender a todos os serviços requeridos.

As expansões das redes de computadores, por sua vez, exigem que sejam de dimensões exatas as necessidades existentes, pois em sendo superdimensionadas, acarretará custos desnecessários ao usuário e em sendo subdimensionadas, irão causar desconforto aos usuários por não atender ao mínimo exigido para uma experiência com qualidade.

Para uma maior fidelidade de um projeto de expansão e/ou inovação tecnológica de uma rede de telecomunicações e os serviços a serem atendidos, a simulação computacional torna-se uma grande aliada, sendo fundamental no planejamento nos projetos de expansão e/ou otimização, pois fornece um ambiente virtual que permite fazer a modelagem de uma grande variedade de características existentes nas redes, permitindo a análise de diversos cenários, antes de sua implantação na prática.

3.1 ALGUNS SIMULADORES DE REDES

Nesta sessão serão apresentados dois simuladores de redes de computadores, que são o OPNET, disponibilizando duas versões. A versão paga, OPNET Modeler, e a versão gratuita OPNET-IT GURU Academic Edition, além do NS-2, que é um simulador de redes gratuito.

3.1.1 OPnet Modeler

O simulador de redes de computadores OPNET Modeler, é uma ferramenta de simulação que permite a criação e o estudo de redes e seus diversos dispositivos e

protocolos, oferecendo ao usuário uma GUI (Graphical User Interface) o que permite modelar todas as camadas de rede.

O OPNET Modeler pode rodar no sistema operacional Windows ou Solaris, e permite que sejam especificados os modelos por meio de diversos editores, no entanto não é uma ferramenta gratuita. (LUCIO, 2003).

3.1.2 OPnet - IT Guru Academic Edition

Este software é um simulador de redes de computadores de propósito geral e que apresenta uma GUI (Graphical User Interface), sendo uma ferramenta gratuita, orientada a eventos, utilizada para modelagem e especificação de redes. Este Software é uma versão acadêmica do Opnet Modeler e foi criado para os cursos de redes de nível introdutório para uso como laboratório em sala de aula. A licença de uso é concedida por 6 meses podendo ser renovada. (OPNET, 2013).

3.1.3 Network Simulator

Neste trabalho será utilizado o Network Simulator (NS-2). Um simulador gratuito e de código aberto, o qual é largamente utilizado pela comunidade científica para a pesquisa e o ensino na área de redes de telecomunicações.

O Network Simulator baseia-se em um projeto de 1989, que se denominava de Real Network Simulator, e encontra-se na sua versão 2.x. Consiste em um simulador orientado a eventos discretos, onde as características da rede são definidas por meio de uma descrição em Script que utiliza comandos de um subconjunto da linguagem Otcl que foi desenvolvida pelo MIT.

Como resultado da simulação, é gerado um arquivo de saída, denominado trace, onde estão registrados os eventos ocorridos durante o processo de simulação. Esta lista de eventos pode ser analisada, tanto para extração de métricas como para visualização do comportamento da rede simulada. Para realizar um experimento com o NS-2, deve-se seguir os seguintes passos: (COUTINHO, 2007).

- a) Criação de um arquivo TCL que descreva a topologia e as características da rede sobre a qual a simulação será realizada;
- b) Execução do programa de simulação tendo como argumento de entrada o arquivo de descrição;
- c) Visualização e/ou análise dos resultados.

3.1.3.1 Extrair Resultados no Network Simulator

Juntamente com o Simulador NS-2 são disponibilizadas as ferramentas NAM⁵ e Xgraph para visualização e análises das simulações. No NAM é possível ver a topologia da simulação com os diversos tráfegos e o Xgraph possibilita a criação de vários gráficos que podem representar a vazão, o jitter e o atraso nas redes, por exemplo. (COUTINHO, 2007).

3.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

No NS-2 não são simuladas as camadas na forma como é na realidade, e sim, os pacotes são tratados como mensagens, além dos modelos serem mais gerais e mais simples. Já no OPNET as camadas são simuladas com maior realidade a partir da camada 2, além de seus modelos serem bem mais personalizados. (FAHMY, 2006).

Uma comparação entre os simuladores de redes de computadores é feita por Lúcio (2003), onde são feitas análises de uma comparação entre OPNET e NS-2, concluindo-se que as simulações nos dois simuladores apresentam resultado que condizem com a realidade. A questão que atrai mais usuários para o NS-2 é o fato de ser uma ferramenta gratuita.

⁵ NAM (Network AniMator) é uma ferramenta para animação baseado em linguagem Tcl. Permite visualizar os traços das simulações de rede e vestígios de pacotes, suportando layout da topologia, animação em nível de pacote e várias ferramentas de inspeção de dados. (NS-2 WIKI, 2006).

4 DEMONSTRAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

O Objetivo proposto aqui é demonstrar a relação direta entre o aumento na largura de banda e a possibilidade de garantir serviços multimídias de qualidade em redes IP, isso, sem a necessidade de implementação de outros mecanismos de QoS, como a aplicação de IntServ ou DiffServ. Com isso, serão feitas algumas considerações e em seguida serão feitas algumas simulações com serviços triple-play convergentes sobre rede IP.

No decurso deste estudo, vê-se que praticamente todas as tecnologias tendem a garantir capacidade de processamento aos componentes da rede e vazão, pois a tecnologia IntServ ou Serviços Integrados prevista na seção 2.6.1 se utiliza principalmente do RSVP para reservar recursos em todo o caminho a ser percorrido por um pacote. O DiffServ ou Serviço Diferenciado previsto na seção 2.6.2 prevê a criação de privilégios para determinados pacotes, além de ter como característica principal a alta escalabilidade. O MPLS rotula os pacotes como pertencendo a uma classe de serviço para evitar a leitura constante dos prefixos IPs existentes nas tabelas de roteamento, que contém as informações de cada datagrama, além disso permite que se tenha rígido controle sobre o tráfego.

Como visto, as tecnologias tendem a oferecer abundância de recursos e possibilidade de controle. Mas afinal, porque simplesmente não se oferecer uma infraestrutura de rede com elevada largura de banda, onde mesmo os serviços sendo utilizados ao máximo, ainda assim, sejam entregues com a qualidade prometida? Para tentar responder esta e outras indagações, serão feitas simulações de cenários para serviços IPTV.

4.1 METODOLOGIA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES

O cenário padrão foi definido no sentido de representar inicialmente o serviço de melhor esforço, sendo formado pela existência de uma rede formada por 13 nós, numerados de 0 a 12, o qual será utilizado em todas as simulações.

Dentro deste cenário serão mostrados alguns aspectos como por exemplo os nós e enlaces, os tráfegos, protocolos e agentes utilizados, além de fluxo e tamanho de pacotes.

4.1.1 Topologia e parâmetros a serem analisados

Os parâmetros analisados neste trabalho são vazão e perda de pacotes, que serão medidos através da análise do arquivo de trace gerado pelo próprio NS-2, os quais, no contexto do trabalho, são considerados suficientes à demonstração do que se propõe.

As análises serão feitas especificamente em relação à quantidade de pacotes enviados e recebidos entre um emissor e um receptor, para então destacar o número de pacotes perdidos em cada transmissão, sendo em seguida feita a relação com o nível de vazão alcançada durante a simulação.

Em relação à vazão, é considerado o montante de tráfego transferido entre o nó origem e o nó destino, o qual é influenciado diretamente pela capacidade de transmissão dos links de rede entre o percurso.

No tocante à perda de pacotes, considera-se a diferença entre a quantidade de pacotes enviados e a quantidade de pacotes recebidos por um determinado receptor, o que, dependendo do montante, pode indicar a necessidade de melhoria na infraestrutura de rede.

Os nós que compõem o cenário padrão para todas as simulações neste trabalho estão detalhados na Tabela 10.

Tabela 10 - Funções dos nós no cenário padrão

Nó	Função
0 e 3	Gerador FTP/TCP
1	Gerador CBR/UDP
2	Gerador Exponencial/UDP
4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Roteadores
11, 12	Usuários

A seguir é demonstrada a topologia padrão em malha parcial, constando os nós, links, tipos de aplicações e os principais protocolos e agentes que serão utilizados em todas as simulações a serem realizadas. Ver Figura 7, abaixo.

4.2 CENÁRIO 1

Neste primeiro cenário foi implementado uma representação de transferência de multimídia sobre uma rede IP, sem a implementação de mecanismo de QoS. Além disso, foi implementada uma alta taxa de transferência para forçar um congestionamento, a fim de uma análise inicial do comportamento dos diferentes tipos de tráfegos, quando convergem para o mesmo canal de comunicação.

Considerando o tipo de serviço a ser testado, onde pressupõe convergência de formatos de mídias em conjunto com a possibilidade de interação com o usuário, o tipo de enlace deve ser tal qual permita a comunicação bidirecional, sendo escolhido o link do tipo Full Duplex, em NS-2 (duplex-link) acompanhado das demais métricas a seguir descritas na Tabela 12.

Tabela 12 - Definição de Links e suas Capacidades

Link		Banda	Atraso (ms)
Nó (origem)	Nó (destino)	(Mbps)	
0	4	3	8
1	4	20	8
2	4	20	8
3	4	3	8
4	5	20	8
5	8	18	8
5	6	20	8
6	7	20	8
7	8	20	8
4	9	20	8
9	10	20	8
10	8	20	8
8	11	18	8
8	12	18	8

Para melhor exemplificar um tráfego do tipo IPTV, onde vários tipos de mídias convergem para um mesmo canal e seguindo a um mesmo usuário, o cenário foi modelado de forma que, após todos os geradores de tráfegos estarem ativos, então os mesmos destinam os tráfegos para mais de um usuário, a fim de que em um determinado momento os usuários finais, representados pelos nós 11 e 12 possam receber todas as

mídias de forma simultânea, ou seja,, em determinado momento da simulação, o nó 11 “Usuário-1”, deveria receber todas as informações provenientes dos nós 0, 1, 2 e 3 assim como também o nó 12 “Usuário-2”.

4.2.1 Execução da Simulação Cenário 1

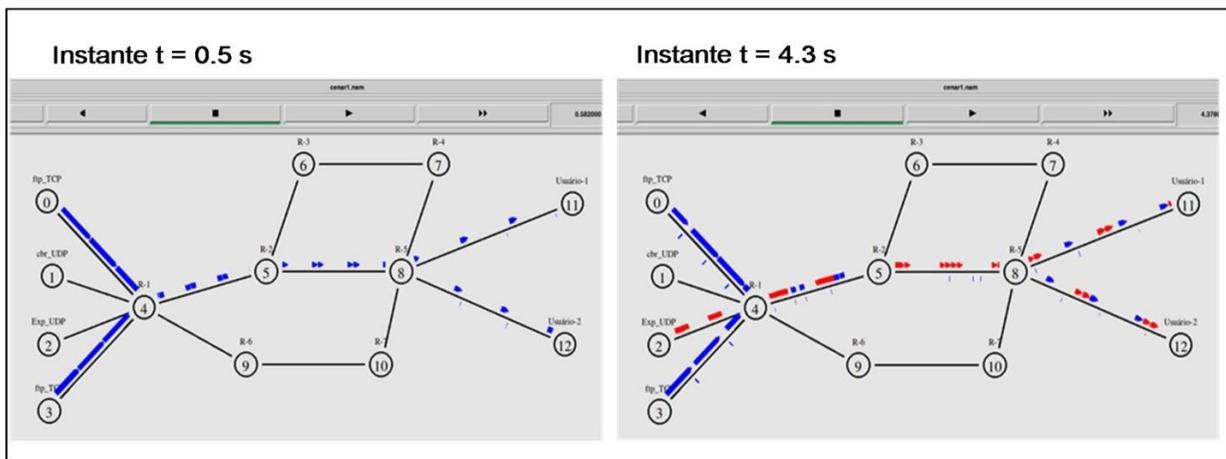
Para uma análise deste primeiro cenário, todos os tráfegos são relevantes, pois a ideia é mostrar um tráfego simultâneo de várias mídias convergindo para um único canal, o qual, em análise prévia, deveria ser suficientemente dimensionado para que não cause nenhum transtorno na recepção das transmissões e com isso venha a causar degradação da QoE.

4.2.2 Cenário 1 no NAM

O NS permite a monitoração através de ferramentas gráficas como NAM e o Xgraph.

Na Figura 8, é possível perceber nos instantes iniciais da simulação $t=0.5$ s e $t=4.3$ s, que os tráfegos FTP/TCP e EXP/UDP ainda conseguem fluir, pois os tráfegos CBR/UDP ainda não iniciaram as transmissões.

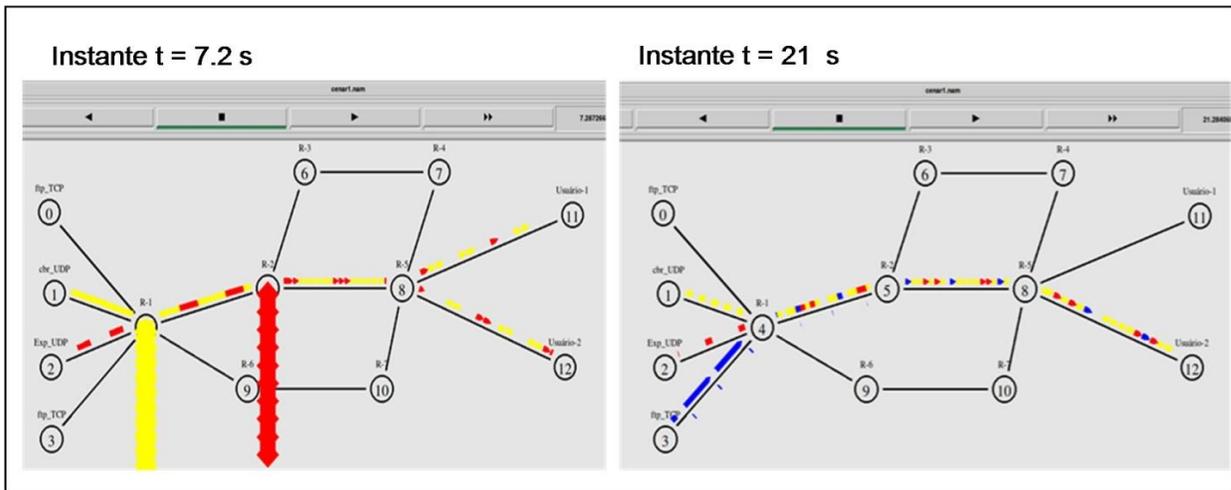
Figura 8 – Início da simulação – Cenário 1



Ressalte-se que foi definida uma rajada “set rate” de 10 Mbps para CBR/UDP,

tendo em vista os padrões recomendados pela ITU para transferência de vídeo em alta definição e em tempo real, com compactação MPEG-4/H.264. Outras resoluções ou outros padrões de compactação exigem igualmente, outras capacidades de vazão. Além de 4 Mbps para Exp/UDP.

Figura 9 – Congestionamento/Perda de Pacotes – Cenário 1



Na Figura 9, Já no instante $t=7.2$ s, é possível visualizar as aplicações sobre UDP ativas, e na ocasião, as aplicações ftp/TCP interrompem as transmissões, por força do controle de congestionamento do TCP. O que, no geral, indica a impossibilidade de transferência de todos os serviços solicitados. Isto, a partir de uma rede com este nível de vazão.

Já no instante $t = 21$ s, foi determinada a inatividade do usuário-1, com isso os serviços passam a ser entregues de forma satisfatória ao usuário-2. O que comprova que a rede não suporta escalabilidade sem mudança na infraestrutura.

Em relação às aplicações TCP, para este cenário, não foram feitas definições de tamanho de janela “set window_” como também tamanho de pacotes “set packetSize_”. Segundo Coutinho (2007), em não fixando esses valores, o NS já utiliza os parâmetros padrões que são 1000 bytes por pacotes e 20 pacotes por janela.

Os parâmetros aqui definidos já são suficientes para gerar grande tráfego na simulação, e conseqüentemente grande congestionamento, tendo em vista as capacidades de links utilizadas.

4.2.3 Cenário 1 no Xgraph

Com a utilização da ferramenta Xgraph pode-se analisar a vazão das diversas aplicações, o qual permite uma análise visual da vazão na rede, cujo gráfico apresenta um eixo X por Y que representam o tempo e a vazão atingida respectivamente. Os valores matemáticos de vazão de perdas de pacotes foram colhidos a partir da execução dos Scripts disponibilizados por Coutinho (2007).

A partir da realização da simulação foram colhidos os dados matemáticos constantes na Tabela 13, os quais representam apenas uma média final de toda a simulação e em relação a cada uma das aplicações.

Tabela 13 - Vazão e Perda de Pacotes no Cenário 1

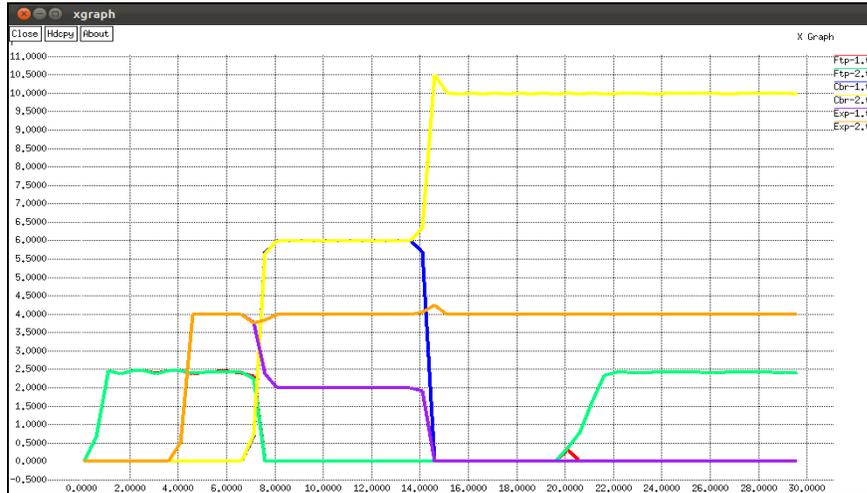
Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Taxa de Perdas (%)
Ftp-1	> 0	0.5	1976	13	< 3
Ftp-2	> 0	1.2	4716	13	< 3
Cbr-1	10	1.4	8752	3497	> 1
Cbr-2	10	6.6	28736	3506	> 1
Exp-1	4	0.9	5000	1714	> 1
Exp-2	4	3.4	12992	6	< 1

Ainda em relação aos dados constantes na Tabela 13, e doravante, nos resultado das demais simulações, deve-se esclarecer que, na coluna “Taxa de Perdas”, não serão mostrados exatamente quanto de pacotes foram perdidos e sim, será demonstrado se as perdas estão abaixo ou acima dos limites recomendados pelas organizações internacionais, como a ITU-T. Os valores constantes na coluna “pacotes enviados” das Tabelas, foram colhidos a partir dos arquivos de trace gerados pelo próprio NS-2, onde são registrados, a cada milissegundo, todos os eventos ocorridos na rede, como por exemplo, a vazão alcançada, pacotes enviados, pacotes recebidos e pacotes descartados, o que possibilitou o cálculo da taxa de perdas para cada fluxo.

Na Figura 10, estão ilustrados os fluxos das diversas aplicações no Cenário 1. Onde é possível perceber que durante os primeiros 7 (sete) segundos, as aplicações FTP/TCP e EXP/UDP conseguem fluir com facilidade, pois as demais aplicações ainda não estão ativas. Entre os instantes $t=7$ s e $t=14$ s, as aplicações estão todas ativas, e

nesse período a rede não atende a vazão necessária, e os serviços ficam prejudicados. Já a partir do instante $t=14$ s, quando o usuário-1 sai da rede, então o usuário-2 passa a ser contemplado com todos os serviços que solicitou.

Figura 10 – Vazão das aplicações - Cenário 1



A simulação do Cenário 1, apesar de básica, mas se faz necessária, pois é possível mostrar e defender uma primeira premissa, a de que não é possível oferecer um serviço IPTV com convergência de mídias (dados, voz e vídeo) apenas agregando esses serviços a uma infraestrutura que não tenha uma vazão para suportar a convergência dos serviços.

4.3 CENÁRIO 2

A partir dos resultados colhidos com a simulação do Cenário 1, vê-se ineficaz a tentativa de agregar serviços IPTV em uma rede IP convencional sem modificar a infraestrutura existente.

Para um gerenciamento que permita agregar serviços convergentes, existem várias possibilidades, como vistas na seção 2.6.1 e seguintes deste trabalho, as quais podem ser utilizadas em conjunto para garantir parâmetros necessários à QoS e consequentemente garantir uma elevada QoE, porém sem prescindir de uma elevada taxa de transferência entre os links.

Apesar das várias técnicas de QoS, já bem delineadas cientificamente, a partir deste momento, serão feitas novas simulações, o que se inicia com o Cenário 2, o qual será simulado com as características básicas do Cenário 1, modificando-se apenas as capacidades de link, conforme se vê na Tabela 14.

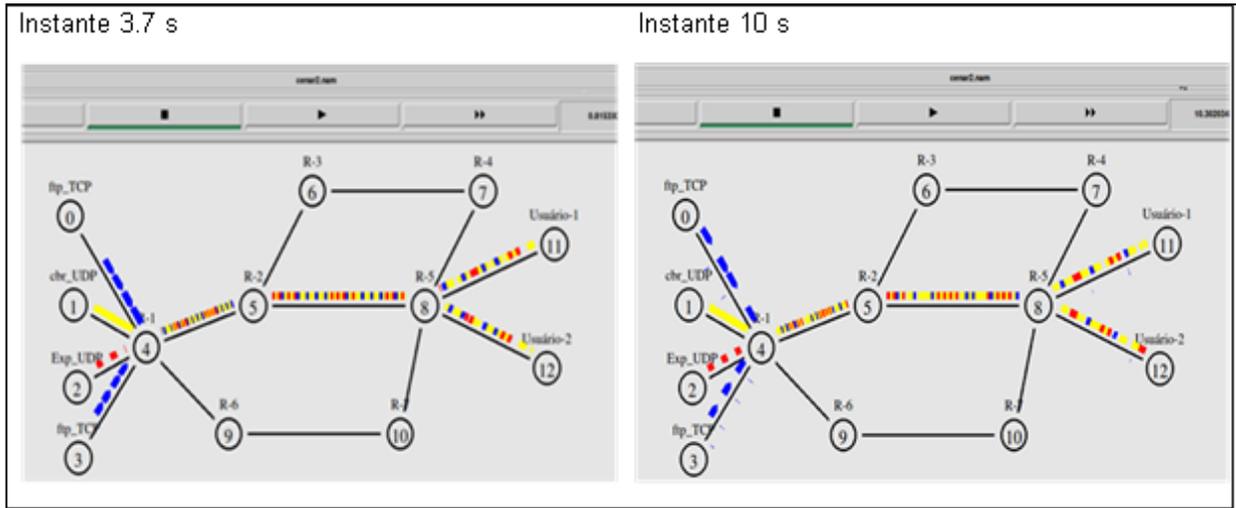
Tabela 14 - Configurações de Banda - Cenário 2

Link		Banda
Nó (origem)	Nó (destino)	(Mbps)
0	4	3
1	4	20
2	4	20
3	4	3
4	5	35
5	8	35
5	6	35
6	7	35
7	8	35
4	9	35
9	10	35
10	8	35
8	11	18
8	12	18

4.3.1 Cenário 2 no NAM

Tendo em vista a necessidade de verificar o efeito do aumento da largura de banda em uma rede IP, e considerando a existência de tecnologias que permitem o oferecimento de altíssimas larguras de banda como o caso das tecnologias baseadas em transmissão sobre Fibra Óptica (EPON e GPON). A simulação foi modelada com a implementação de uma elevação na capacidade dos links, onde foi definida uma capacidade de 35 Mbps para os links que compõem o núcleo da rede, o que permitiu verificar os efeitos em relação à entrega do serviço, comparando com o serviço prestado a partir do Cenário 1.

Figura 11 – Visualização Cenário 2



Na Figura 11, são apresentados dois momentos do tráfego, que são $t=3.7$ s e $t=10$ s, onde, de forma visual, é possível constatar que as aplicações estão todas ativas e trafegando sem qualquer perda de pacotes, e conseqüentemente o nó 11 (*usuário-1*) e nó 12 (*usuário-2*), estão recebendo os serviços sem nenhum problema.

4.3.2 Cenário 2 no Xgraph

Os valores de vazão e taxa de perdas referentes à simulação do Cenário 2 estão na Tabela 15, em que a vazão das aplicações ftp-1 e ftp-2 estão na faixa de 1.9 Mbps, as aplicações cbr-1 e cbr-2 atingem vazão de 9.6 Mbps e as aplicações Exp-1 e Exp-1 atingem 3.8 Mbps, ou seja, todas estão com níveis de vazão aceitáveis.

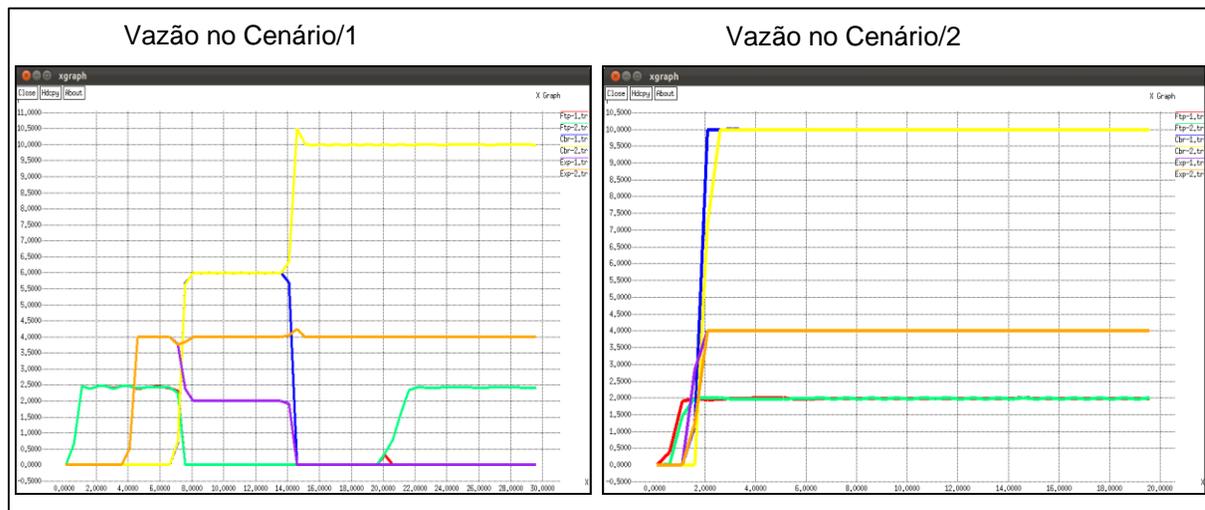
Tabela 15 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 2

Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Taxa de Perdas (%)
Ftp-1	> 0	1.9	4171	0	< 3
Ftp-2	> 0	1.9	4171	0	< 3
Cbr-1	10	9.6	21748	0	< 1
Cbr-2	10	9.6	21748	0	< 1
Exp-1	4	3.8	8648	0	< 1
Exp-2	4	3.8	8648	0	< 1

Os valores constantes na Tabela 15 são resultado da simulação, na qual o cenário foi implementado com uma elevação da capacidade de vazão dos links que compõem o núcleo da rede, ou seja, os links formados entre os nós (4 → 5), (5 → 8), (5 → 6), (6 → 7), (7 → 8), (4 → 9), (9 → 10) e (10 → 8).

A partir da observação do gráfico de vazão, representado na Figura 12, é possível observar a ilustração comparativa entre a vazão alcançada na simulação do Cenário 1 com a simulação do Cenário 2, onde se vê que no segundo cenário, os fluxos atingem altas taxas de vazão, e conseqüentemente ocorre a confirmação da previsibilidade do serviço. Pois todos os serviços podem ser entregues de forma satisfatória, em contradição ao Cenário 1 que demonstrou grande instabilidade na vazão e as taxas de perdas para as aplicações de áudio e vídeo foram bem elevadas.

Figura 12 – Comparativo entre os Cenários 1 e 2



Vale ressaltar que aqui foram alcançadas as condições necessárias para as transmissões dos serviços IPTV, tendo em vista que foi disponibilizada uma elevação na capacidade dos links, como já mencionado.

Em alguns instantes da simulação, no Cenário 2, é possível ver que o gráfico apresenta linhas retas coincidentes, isso ocorreu pelo fato de que, as aplicações atingiram níveis de transmissão idênticos, ou próximos disso.

4.4 CENÁRIO 3

O Cenário 3 tem como base o Script da simulação do Cenário 2, com a implementação de uma quebra do link entre os nós (5 → 8), prevista para ocorrer no instante $t= 8.0$ s, o que no NS-2 é implementado a partir do trecho de código a seguir, que determina a quebra do link respectivo.

(...)

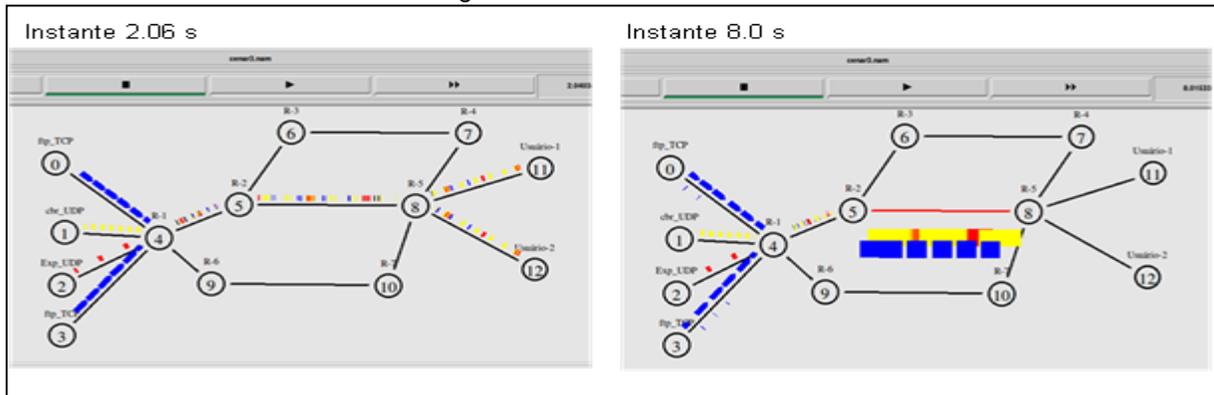
```
$ns rtmodel-at 8.0 down $n5 $n8
```

(...)

4.4.1 Cenário 3 no NAM

A ideia de modelar este cenário é para mostrar que para os serviços IPTV, e certamente para qualquer outro serviço, a rede deve ser confiável, no sentido de oferecer os serviços com qualidade para os quais se propõe e igualmente deve estar disponível no sentido de suportar possíveis danos, como uma quebra de link, por exemplo.

Figura 13 - Cenário 3 no NAM



Na apresentação desta simulação a partir do NAM, é possível observar o momento aproximado da quebra do link entre os nós (5 → 8), em destaque no instante $t=8.0$ s (Figura 13), onde os usuários imediatamente deixam de receber todos dos serviços, mesmo existindo uma infraestrutura de rede em malha a disposição.

A tabela com os valores referentes ao Cenário 3 é idêntica a tabela referente ao Cenário 2, isso quando considerado o período entre o instante inicial e o instante da

quebra do link, quando a rede era capaz de atender à vazão exigida.

4.4.2 Cenário 3 no Xgraph

A partir da análise gráfica da vazão, no Xgraph, é possível perceber que as aplicações se mantiveram com níveis de transmissões elevados até o momento da quebra do link, momento em que as transmissões são totalmente suspensas e o serviço deixa de ser oferecido, passando a vazão a ser nível '0' (zero), tendo em vista a impossibilidade da rede se recuperar diante da implementação de roteamento estático. Ver Figura 14.

Figura 14 – Cenário 3 no Xgraph



Uma possível solução a um problema dessa natureza, que pode ocorrer no do roteamento estático, seria toda vez que houver alteração na rede capaz de afetar o serviço, um administrador refazer a configuração de forma manual, o que não é indicado, tendo em vista a complexidade das redes e a enorme quantidade e usuários e rotas que compõem as redes de telecomunicações atuais. (TANENBAUM, 2003).

4.5 CENÁRIO 4

A simulação do Cenário 4 tem sua base a partir do Cenário 3, sendo, no entanto, implementado um roteamento dinâmico, o que sendo em uma topologia de rede em

malha, permitiu uma recuperação bem rápida diante de quebras de link.

O NS suporta a implementação de diversos protocolos de roteamento, dentre os quais está o roteamento estático SPF (Shortest Path First) de Dijkstra (Padrão no NS), podendo ser chamado via comando “\$ns rproto Static”. Além dos protocolos, vetor de distância (Em NS-2 “\$ns rproto DV” e o protocolo estado de enlace (Em NS-2 “\$ns rproto LS”. (GONÇALVES; CORRÊA, 2005).

Neste cenário foi utilizado o algoritmo de roteamento vetor de distância ou algoritmo de Bellman-Ford.

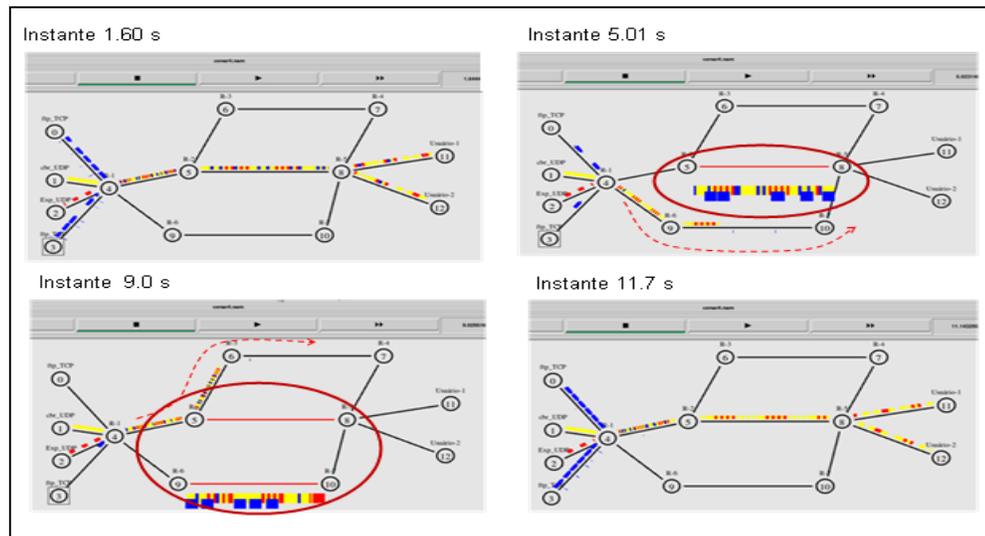
4.5.1 Cenário 4 no NAM

Pelo algoritmo de roteamento utilizado, cada roteador mantém uma tabela (vetor) que armazena a melhor distância para se chegar até cada destino e a rota correspondente. Inicialmente um roteador possui apenas informações de custos de enlaces até seus vizinhos diretamente conectados. Periodicamente, o roteador distribui seu vetor de distâncias aos seus vizinhos, atualizando, dessa forma, as tabelas de roteamento dos mesmos. (GONÇALVES; CORRÊA, 2005).

Apenas com a visualização da simulação constante na Figura 15, já é possível perceber que a rede possui uma capacidade de recuperação.

No instante $t=5.01s$ de simulação ocorre a primeira quebra de link e o mecanismo de roteamento procura outro caminho, de forma a percorrer os nós ($4 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 8$) que é, neste caso o melhor caminho até o nó 8. No instante $t=9.0s$ ocorre uma segunda quebra de link, quando o tráfego passa aos nós ($4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$), pois neste momento, tendo em vista os demais links estarem quebrados, então este é o melhor caminho. No instante $t=11.7s$ de simulação, a rede já se recuperou, e é possível ver que a rota de tráfego retornou ao caminho ($4 \rightarrow 5 \rightarrow 8$), pois este é o melhor caminho entre todos existentes neste cenário.

Figura 15 – Quebras de Link – Cenário 4



4.5.2 Cenário 4 no Xgraph

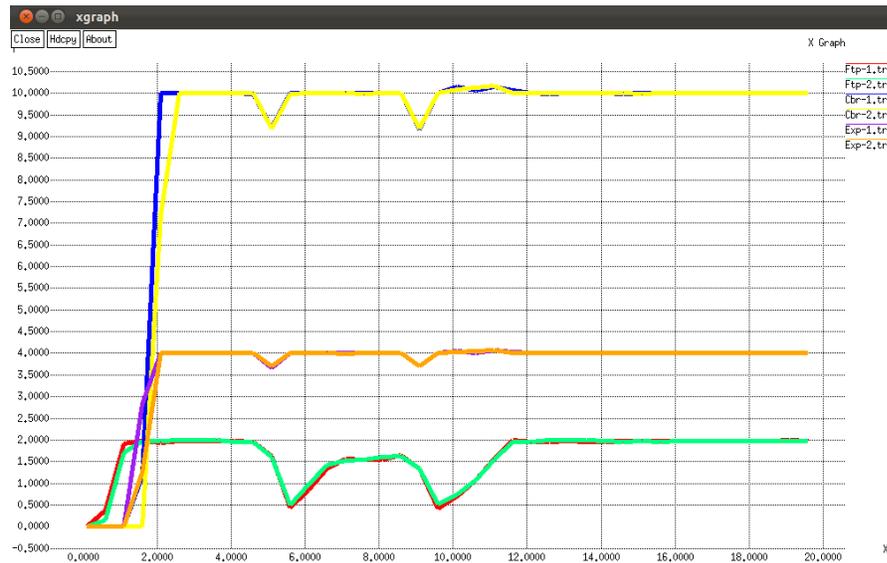
Os valores de vazão e taxa de perdas referentes à simulação no Cenário 4 são apresentadas na Tabela 16, na qual se vê que apesar dos danos ocorridos na rede (quebra de link), esta foi capaz de se recuperar e as transmissões não foram afetadas, pois apesar da ocorrência de perdas de pacotes, a taxa de perdas é mínima, e não afetam a entrega dos serviços.

Tabela 16 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 4

Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Taxa de Perdas (%)
Ftp-1	> 0	1.62	3566	8	< 3
Ftp-2	> 0	1.62	3636	4	< 3
Cbr-1	10	9.6	21752	25	< 1
Cbr-2	10	9.6	21750	28	< 1
Exp-1	4	3.8	8648	8	< 1
Exp-2	4	3.8	8648	11	< 1

Na apresentação gráfica da vazão dos tráfegos referentes ao Cenário 4 (Figura 16), são ilustrados os valores matemáticos constantes na Tabela 16, ficando bem claro que apesar das variações momentâneas provocadas pelas quebras de link, a rede se mantém em condições de tráfego, o que é fundamental para a garantia da QoE.

Figura 16 – Gráfico de Vazão – Cenário 4



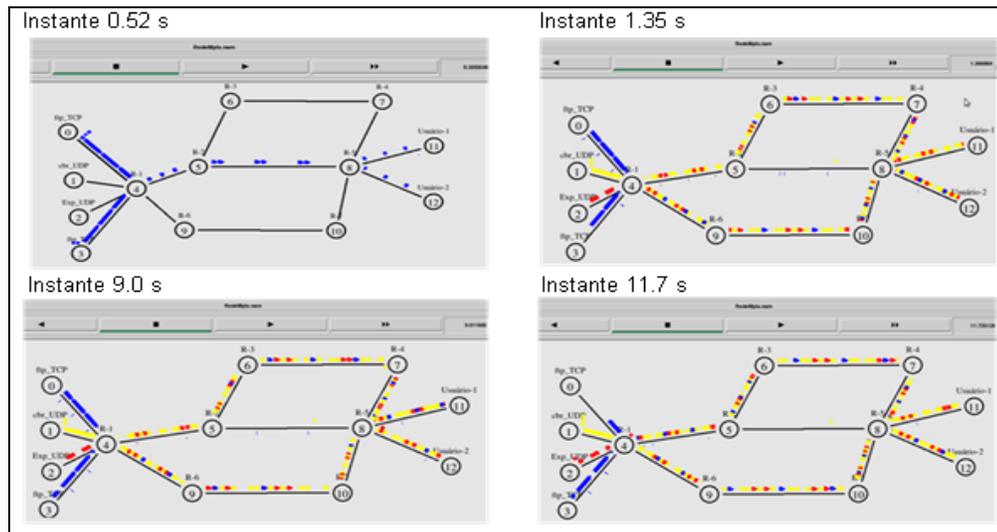
A partir da legenda à direita da figura, é possível identificar cada um dos fluxos pelas cores, sendo que em alguns momentos os gráficos se sobrepõem, em virtude das aplicações terem atingido vazões quase que idênticas.

4.6 CENÁRIO 5

A partir deste cenário será simulado outro formato de entrega para o mesmo serviço, tendo como base o Cenário 1, que demonstrou ser totalmente ineficaz ao serviço IPTV. Sendo que neste cenário foi mostrado o funcionamento do MPLS, mencionada na seção 2.7.4, o que foi feito a partir da execução do Script Otcl constante no Apêndice B.

Com a simulação do MPLS, foi possível determinar que novas rotas fossem utilizadas nos momentos de grande congestionamento (Figura 17). Além disso, essa tecnologia cria rótulos para os pacotes, o que permite uma maior rapidez no processamento de identificação dos mesmos, pois o cabeçalho IP não precisa ser lido pelos roteadores a cada salto.

Figura 17 – Engenharia de Tráfego – Cenário 5



Apesar do Cenário 5 ter as mesmas dimensões do Cenário 1 com relação à largura de banda, no entanto não há congestionamento de tráfego, pois no instante $t = 1.35$ s (Figura 17), quando o fluxo já está mais elevado devido o início das aplicações CBR e Exponencial, o tráfego é dividido e redirecionado, a fim de evitar os congestionamentos, permanecendo dessa forma até final simulação em condições aceitáveis.

4.6.1 Cenário 5 no Xgraph

A partir da simulação foram colhidos os valores referentes à vazão e à taxa de perda de pacotes, os quais estão dentro das margens recomendadas, o que pode ser constatado nas colunas “Vazão Média Registrada”, “Pacotes Perdidos” e “Taxa de Perdas” da Tabela 17. Sendo registrada uma vazão de 1.9 Mbps para FTP-1, 2.1 Mbps para FTP-2, 9.6 Mbps para os fluxos CBR e 3.8 Mbps para os fluxos Exponenciais.

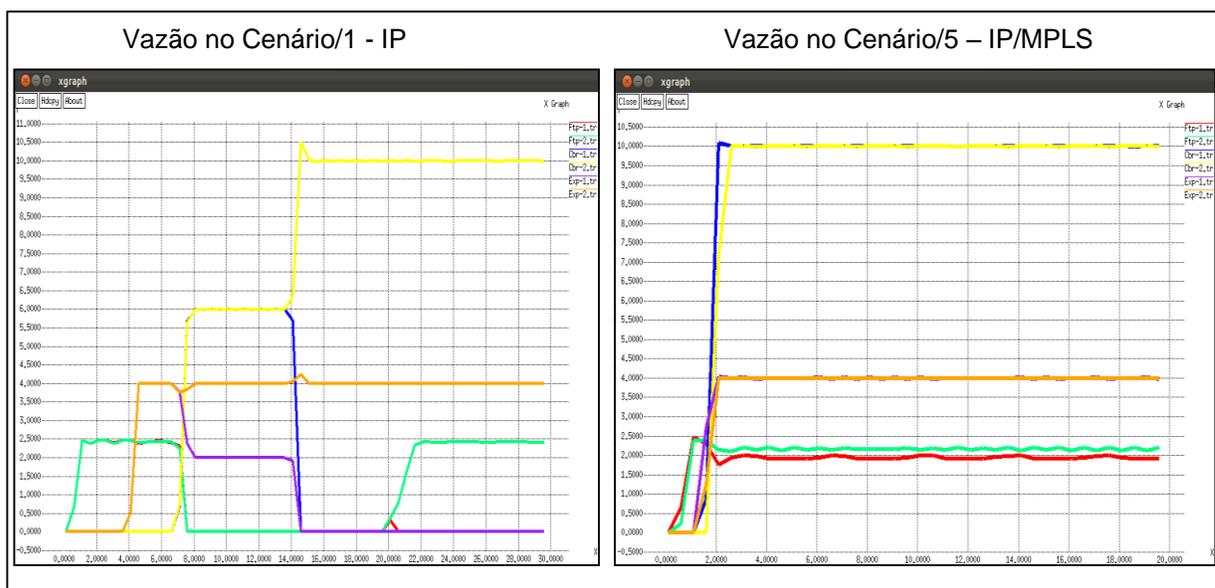
Tabela 17 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 5

Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Taxa de Perdas (%)
Ftp-1	> 0	1.9	4131	0	< 3
Ftp-2	> 0	2.1	4578	0	< 3
Cbr-1	10	9.6	21742	0	< 1
Cbr-2	10	9.6	21742	0	< 1
Exp-1	4	3.8	8645	0	< 1
Exp-2	4	3.8	8644	0	< 1

A partir do gráfico de vazão gerado no Cenário 5, (Ver Figura 18), os valores da Tabela 17 são ilustrados, mostrando que as aplicações atingem as capacidades de transmissão previstas, isso com a implementação de MPLS.

Apesar da não elevação de largura de banda de forma direta, no entanto, deve-se perceber que o sistema foi capaz de redirecionar o tráfego, o que certamente faz com que o sistema passe a utilizar uma banda maior para a entrega dos serviços IPTV, utilizando para isso, rotas diferentes que estão ociosas. Isso foi possível pela possibilidade da implementação de engenharia de tráfego a partir da tecnologia MPLS, o que permitiu a entrega dos serviços IPTV, não havendo perdas neste cenário.

Figura 18 – Comparativo entre os Cenários 1 e 5



No comparativo, percebe-se uma grande diferença entre a vazão alcançada no Cenário 1 com relação à vazão alcançada no Cenário 5, pois neste, a vazão é bem constante e bem próxima da vazão exigida, possibilitando a entrega dos serviços. Valendo lembrar, que neste caso, não houve alteração na infraestrutura de banda, ou seja, não foram feitas mudanças nas capacidades de vazão dos links, como ocorreu no Cenário 2, sendo apenas aplicada a tecnologia MPLS.

4.7 CENÁRIO 6

Este cenário tem o objetivo de mostrar como a rede padrão (Cenário 1) se comporta diante da implementação de DiffServ, visto na seção 2.7.2.

Para a aplicação da técnica de serviços diferenciados a partir do NS-2, foi necessário criar cinco módulos e acrescentar ao cenário padrão, a fim de implementar as funcionalidades de roteamento de borda e núcleo, como também para monitorar as filas e fazer o policiamento do tráfego, definindo o DSCP, isso para cada uma das aplicações. O que foi efetivado com o Script em Otcl constante no Apêndice C.

Se a proposta IPTV, é a entrega de diversos serviços, logo estes devem estar continuamente à disposição do usuário e diante disso, foi estabelecido que, não apenas alguns serviços são preferenciais e sim um pacote de serviços. Sendo, pois, neste caso e para este cenário, estabelecido que todos os serviços envolvidos no pacote devessem ter o mesmo DSCP = 10.

4.7.1 Execução da Simulação Cenário 6

Com a simulação do Cenário 6, foram coletados alguns dados que comprovam que não basta definir um pacote de serviços como sendo prioritário, pois se a rede não suporta os serviços funcionando em simultâneo, em algum momento, os usuários irão sentir a deficiência, o que não é desejável a nenhum serviço, muito menos ao serviço IPTV, que já se apresenta com a proposta de ser diferenciado na qualidade.

Tabela 18 – Vazão e Perda de Pacotes – Cenário 6

Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Taxa de Perdas (%)
FTP-1	> 0	0.07	203	22	> 3
FTP-2	> 0	0.07	208	28	> 3
CBR-1	10	6.9	24250	6960	> 1
CBR-2	10	6.8	24000	6914	> 1
Exp-1	4	2.8	9700	2684	> 1
Exp-2	4	2.7	9600	2688	> 1

Analisando a Tabela 18, fica claro que os valores registrados excedem em muito todas as métricas estabelecidas para taxa de vazão e taxa de perda de pacotes, por

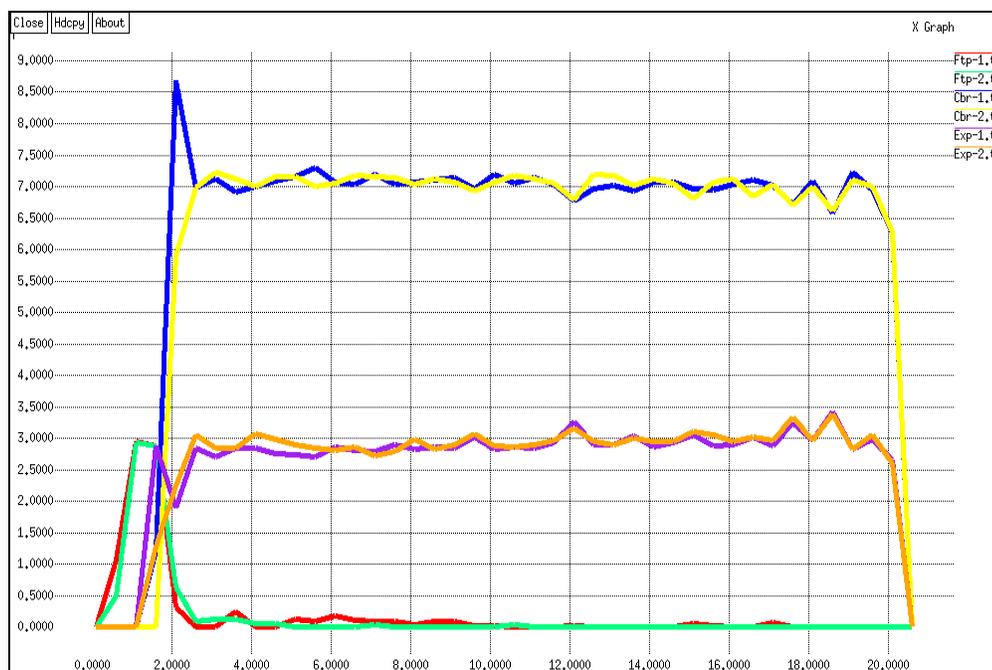
exemplo, na aplicação FTP-1, se perderam 22 pacotes, isso de um total de 203 que foram enviado, o que representa uma taxa de aproximadamente 10.84%, ou seja, bem acima da taxa máxima recomendada de 3%.

4.7.2 Apresentação da Vazão no Xgraph - Cenário 6

A partir da Figura 19, é possível visualizar graficamente a ilustração dos dados constantes na Tabela 18, isso em relação à vazão, os quais demonstram uma ineficiência da rede para transportar todos os tráfegos em simultâneo.

Sendo a vazão o primeiro e principal parâmetro a ser garantido, pois sem vazão, sequer é possível calcular os demais parâmetros, vemos que nesse momento a rede não oferece nenhuma condição de ser utilizada para a entrega do serviço IPTV. Pois a vazão registrada neste cenário ficou bem abaixo da vazão exigida para as transmissões e consequentemente, as taxas de perdas ficaram bem acima dos padrões recomendados.

Figura 19 – Gráfico de Vazão – Cenário 6



4.8 CENÁRIO 7

Nesta simulação, será aplicado novamente o Serviço Diferenciado, sendo, no entanto, feita uma tentativa de aperfeiçoar o uso dos recursos a partir da diferenciação de serviços.

No caso, o pacote de serviço IPTV, vai constar de dois agentes TCP com alta prioridade, no entanto, considerando sua janela deslizante, que vai aumentar lentamente e constantemente até um nível máximo, mas que por outro lado, é capaz de transmitir a partir de uma banda mínima, foi especificada uma vazão máxima para TCP, de forma que mesmo com prioridade alta, não vai interferir nas aplicações UDP.

Neste cenário, foi estabelecida uma rajada mínima para Exp/UDP de 2Mbps, que permite por exemplo, a transmissão de vários canais de áudio e vídeo sob demanda. Sendo mantida a vazão mínima do Cbr/UDP em 10Mbps, pois este representa a transmissão de streaming de vídeo em alta definição e em tempo real com MPEG-4. Sendo ainda feito o controle de envio do TCP definindo-se um tamanho de janela deslizante máxima de 10 pacotes e tamanho do pacote em 500 Bytes.

4.8.1 Execução da Simulação Cenário 7

A partir da simulação do Cenário 7, foram colhidos os seguintes dados em relação à vazão e perda de pacotes, conforme Tabela 19.

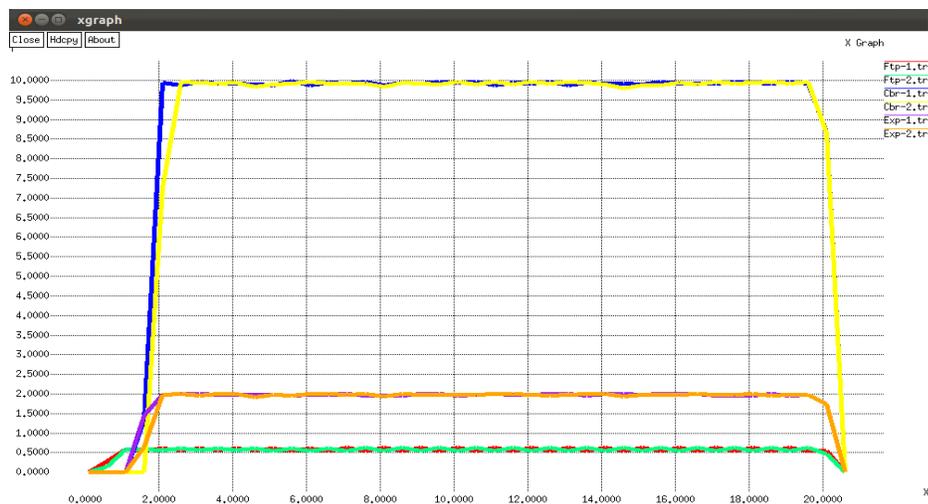
Tabela 19 – Vazão e Perda de Pacotes - Cenário 7

Aplicação	Vazão Necessária (Mbps)	Vazão Média Registrada (Mbps)	Pacotes enviados	Pacotes Perdidos	Perda de Pacotes %
FTP-1	> 0	0.6	2816	0	< 3
FTP-2	> 0	0.6	2803	0	< 3
Cbr-1	10	9.7	24500	218	< 1
Cbr-2	10	9.7	24500	220	< 1
Exp-1	2	1.9	4849	44	< 1
Exp-2	2	1.9	4849	45	< 1

Com a análise da vazão e da taxa de perdas, as quais são ilustradas no gráfico da Figura 20, percebe-se que ambas as aplicações FTP não tiveram nenhuma perda de pacotes (*coluna perda de pacotes igual a zero*), isto pela sua característica de controle de congestionamento, combinado com o tratamento de prioridade que lhe fora dispensado, permitindo uma comunicação dentro de níveis aceitáveis.

Em relação às aplicações sobre UDP, estas tiveram perdas de pacotes, no entanto, o percentual está dentro dos limites recomendados, onde as aplicações CBR tiveram taxas de perdas de aproximadamente 0.89 % e as aplicações Exponenciais tiveram taxa de perdas de aproximadamente 0.9 %, ou seja, estão abaixo das taxas de 1% recomendadas como limite máximo de perdas.

Figura 20 – Gráfico de Vazão – Cenário 7



Na apresentação gráfica das vazões (Figura 20), vê-se que as aplicações atingiram as vazões necessárias às suas transmissões, com isso, pode-se dizer que a técnica DiffServ contribui de melhorar o nível de escalabilidade, o que é fundamental, tendo em vista o surgimento constante de novos usuários, como também de novos serviços. Permitindo ainda a agregação de mais fluxos e também por permitir a separação de funções nos roteadores tanto de borda quanto de núcleo, facilitando a otimização dos recursos de rede.

A alta escalabilidade do DiffServ, inclusive, é um dos fatores preponderantes para a técnica ser recomendada para os serviços Triple-Play. (DLS-FORUM – WT 126, 2006).

4.9 RESUMO DAS SIMULAÇÕES

Nesta seção é mostrado um resumo das métricas colhidas a partir das simulações realizadas com os sete cenários (Tabela 20). Além disso, é feita uma demonstração gráfica relacionando os níveis de vazão alcançados com a taxa de perda de pacotes, isso em relação aos cenários 1, 4 e 7, o que é suficiente para demonstrar o comportamento dos serviços, diante de uma infraestrutura com vazão básica, como também em relação a uma infraestrutura com elevada taxa de transferência.

Tabela 20 - Resumo dos Resultados das Simulações

Aplicações	Parâmetro Monitorado	Cenários						
		1	2	3 (Até a quebra do link)	4	5	6	7
FTP-1/TCP	Vazão Necessária (Mbps)	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
	Vazão Alcançada (Mbps)	0.5	1.9	1.84	1.62	1.9	0.07	0.6
	Pacotes enviados	1976	4171	1799	3566	4131	203	2816
	Pacotes Perdidos	13	0	3	8	0	22	0
	Taxa Perdas (%)	0.65	0	0.16	0.22	0	10.84	0
FTP-2/TCP	Vazão Necessária (Mbps)	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
	Vazão Alcançada (Mbps)	1.2	1.9	1.81	1.62	2.1	0.07	0.6
	Pacotes enviados	4716	4171	1770	3636	4578	208	2803
	Pacotes Perdidos	13	0	3	4	0	28	0
	Taxa Perdas (%)	0.3	0	0.17	0.11	0	13.46	0
CBR-1/UDP	Vazão Necessária (Mbps)	10	10	10	10	10	10	10
	Vazão Alcançada (Mbps)	1.4	9.6	9.3	9.6	9.6	6.9	9.7
	Pacotes enviados	8752	21748	24358	21752	21742	24250	24500
	Pacotes Perdidos	3497	0	13	25	0	6960	218
	Taxa Perdas (%)	39.9	0	0.05	0.11	0	28.7	0.88

	Perdas (%)							
CBR-2/UDP	Vazão Necessária (Mbps)	10	10	10	10	10	10	10
	Vazão Alcançada (Mbps)	6.6	9.6	9.2	9.6	9.6	6.8	9.7
	Pacotes enviados	28736	21748	24233	21750	21742	24000	24500
	Pacotes Perdidos	3506	0	13	28	0	6914	220
	Taxa Perdas (%)	12.2	0	0.05	0.13	0	28.8	0.9
EXP-1/UDP	Vazão Necessária (Mbps)	4	4	4	4	4	4	2
	Vazão Alcançada (Mbps)	0.9	3.8	3.6	3.8	3.8	2.8	1.9
	Pacotes enviados	5000	8648	9642	8648	8645	9700	4849
	Pacotes Perdidos	1714	0	5	8	0	2684	44
	Taxa Perdas (%)	34.2	0	0.05	0.09	0	27.67	0.9
EXP-2/UDP	Vazão Necessária (Mbps)	4	4	4	4	4	4	2
	Vazão Alcançada (Mbps)	3.4	3.8	3.5	3.8	3.8	2.7	1.9
	Pacotes enviados	12992	8648	9592	8648	8644	9600	4849
	Pacotes Perdidos	6	0	4	11	0	2688	45
	Taxa Perdas (%)	0.04	0	0.04	0.13	0	28	0.9

Na Tabela 20, acima, devem ser observadas as colunas numeradas de 1 a 7, as quais representam os diversos cenários, e suas linhas que representam as diversas aplicações com os diversos itens monitorados, como **a vazão necessária, a vazão alcançada, os pacotes enviados, os pacotes perdidos e a taxa de perdas de pacotes**, isso, referentes a cada uma das aplicações ora simuladas.

Observe-se ainda, os valores destacados em vermelho, os quais representam os diversos momentos em que a *vazão alcançada* pela aplicação ficou muito abaixo da *vazão necessária*, acarretando em elevada taxa de perda de pacotes, salvo para as aplicações ftp/TCP, as quais, mesmo com uma vazão mínima alcançada, ainda assim não registram elevadas taxas de perda, isto pelo seu mecanismo de controle de congestionamento.

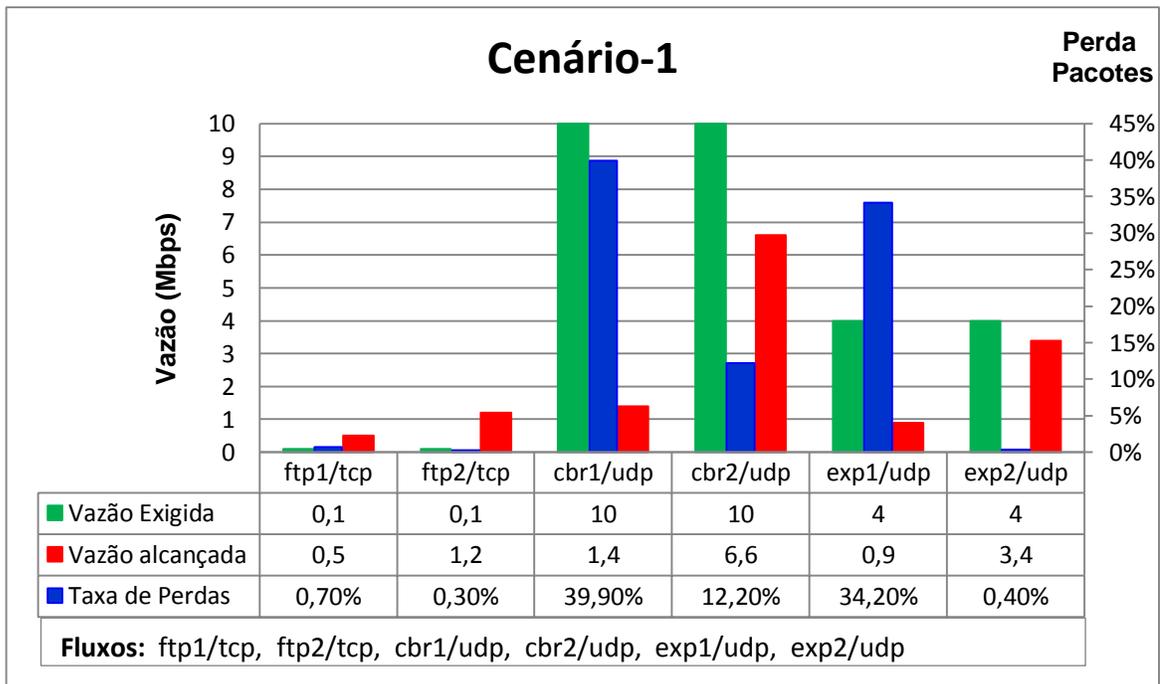
4.9.1 Representação Gráfica das Perdas de Pacotes

Para um melhor entendimento da relação existente entre os níveis de vazão de uma rede e a taxa de perda de pacotes, serão mostrados alguns gráficos que ilustram os dados da Tabela 20. Para isso foram escolhidos os cenários 1, 4 e 7, pois os mesmos reúnem as características necessárias à este entendimento.

4.9.1.1 Taxas de Perdas no Cenário 1

Na representação gráfica das vazões e taxas de perdas em relação ao Cenário 1, constantes na Figura 21, é possível observar as diversas aplicações, as quais tem as *taxas de vazão exigida* representada pela coluna verde, a *taxa de vazão alcançada* é representada pela coluna vermelha e a *taxa de perdas* representada pela coluna azul.

Figura 21 – Representação das Taxas de Perdas no Cenário 1



Fica bem visível que as taxas de perdas são maiores quando as aplicações não conseguem atingir ou pelo menos se aproximar dos níveis de vazão exigidos.

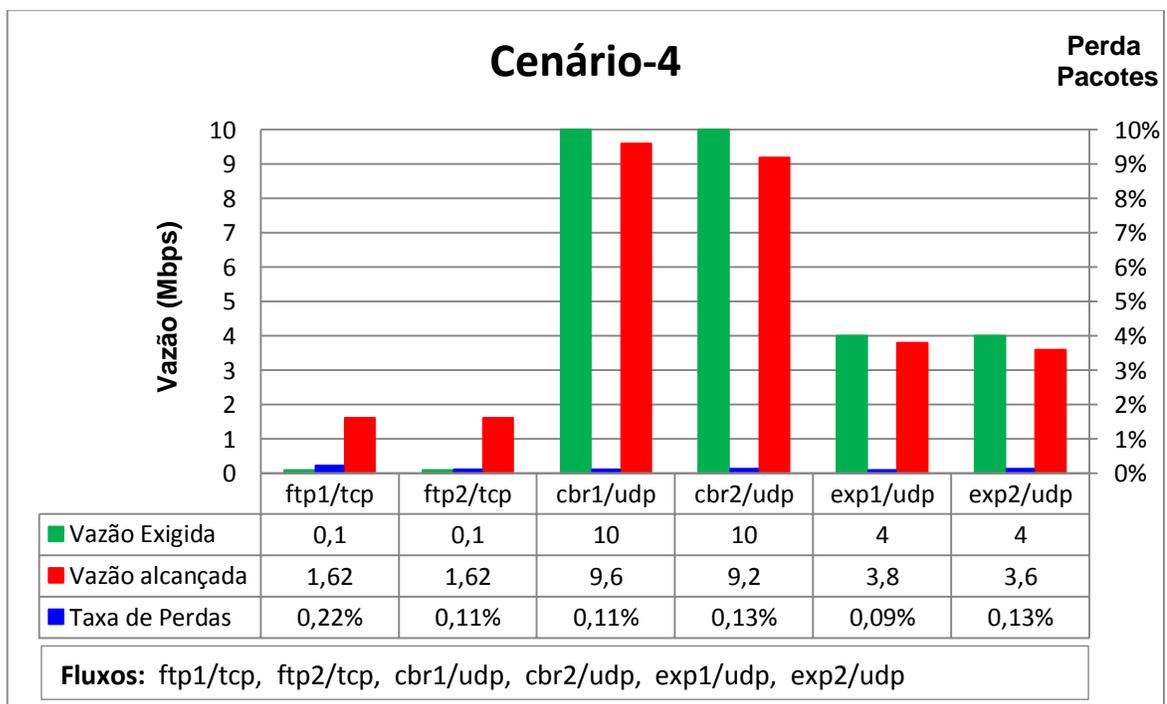
Considerando que os serviços IPTV se propõem entregar vários tipos de mídias, entre as quais estão áudio e vídeo em tempo real, e que estes serviços são extremamente sensíveis a perda de pacotes, pode-se concluir que este cenário é inviável a entrega do serviço, pois as aplicações cbr/udp registram elevadas taxas de perda de pacotes (39,9% e 12,2%) respectivamente, o que certamente, vai degradar a qualidade do serviço.

4.9.1.2 Taxas de Perdas no Cenário 4

Neste cenário como já descrito anteriormente, foi feita uma implementação com uma elevação na largura de banda em todos os links pertencentes ao núcleo da rede.

Neste caso, é possível se concluir que surge um cenário compatível com a transmissão dos serviços IPTV, pois a vazão na rede é suficiente para manter os níveis de transmissão elevados e conseqüentemente mantem-se os níveis de perdas de pacotes controlados. Como se observa no gráfico da Figura 22, todas as aplicações tiveram taxas perda de pacotes abaixo de 1%, o que não interfere na qualidade do serviço a ser entregue, isso devido à alta taxa de vazão alcançada.

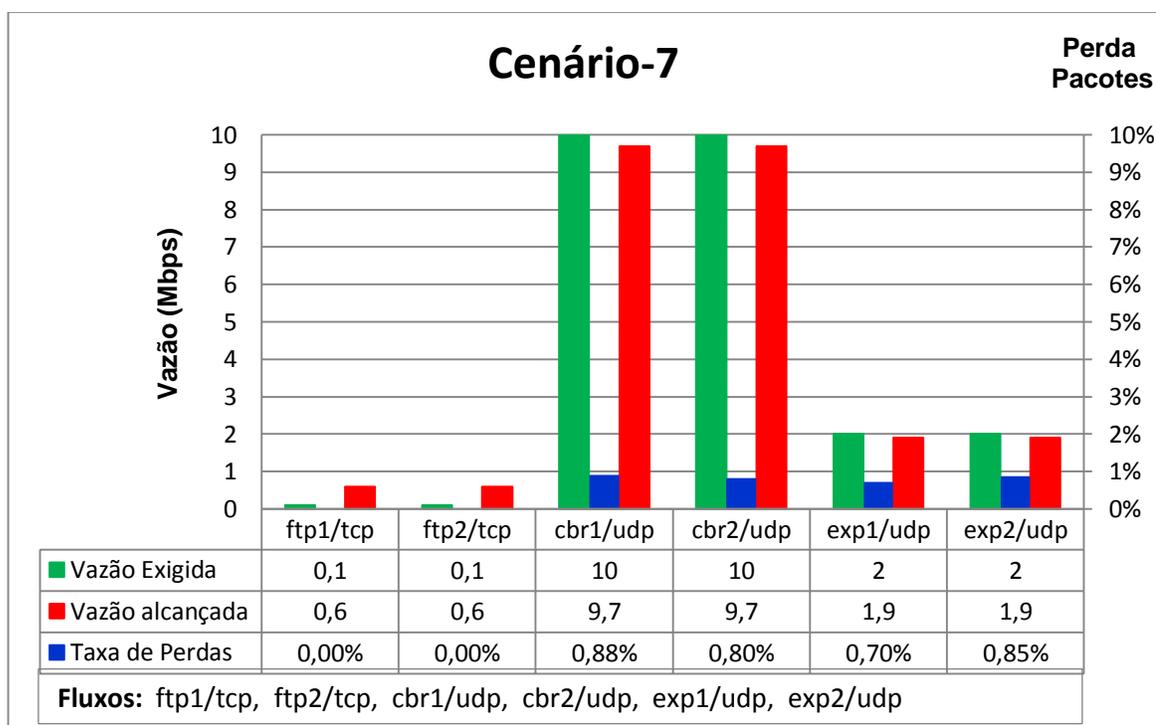
Figura 22 - Representação das Taxas de Perdas no Cenário 4



4.9.1.3 Taxas de Perdas no Cenário 7

No cenário 7, foi implementado DiffServ, isso na mesma infraestrutura existente no Cenário 1, sendo possível, no entanto, fazer certo gerenciamento, e com isso foi possível garantir uma banda mínima para os serviços ftp-1 e ftp-2, os quais estavam sendo sufocados pelos serviços crb/UDP, além disso foi determinada uma banda menor para as aplicações exp/UDP, de forma que ao final, todos os serviços foram atendidos, garantindo-se um controle da taxa de perdas, a qual se manteve dentro limites recomendados, ou seja, menor que 1% para todas as aplicações, como se vê na Figura 23, mais uma vez em virtude da vazão ter alcançado níveis próxima do máximo.

Figura 23 - Representação das Taxas de Perdas no Cenário 7



Os demais cenários não serão representados graficamente, no entanto, é possível perceber, a partir da Tabela 20, que nos cenários, 2 e 5 as aplicações alcançam um vazão que oscila nas proximidades da vazão exigida, com isso, as taxas de perdas são mantidas nos níveis aceitáveis para transmissão dos serviços IPTV, o que é fundamental,

principalmente aos serviços de áudio e vídeo em tempo real. As mesmas condições são averiguadas no cenário 3, no entanto a quebra de link impede a continuidade do serviço.

No cenário 6, as taxas de perdas excedem os limites recomendados, pois a rede não deu suporte à entrega dos serviços de todos os clientes de forma simultânea, tendo em vista não ter havido nenhuma melhora na infraestrutura.

5 CONCLUSÕES

O Sistema IPTV representa uma oportunidade para as empresas de telecomunicações agregarem novos serviços, podendo construir negócios que outrora eram exclusivos de determinados tipos de operadoras.

Como foi constatado durante este trabalho, o IPTV permite a oferta de múltiplos canais em alta definição ao vivo, vídeos por demanda, além de oferecer serviços de voz e acesso à internet entre outros, proporcionando ainda interatividade com o cliente.

Foram simulados vários cenários, com a intenção de desenvolver uma linha de raciocínio para formar uma convicção sobre a proposta inicial do trabalho, que é demonstrar a necessidade de uma infraestrutura com elevada capacidade de vazão para a entrega dos serviços IPTV.

As simulações do Cenário 1 até o Cenário 4 apesar de bem básicos, no entanto servem para demonstrar que a elevação na largura de banda não só torna o serviço possível, mas que é fundamental para os serviços IPTV.

Por ocasião da simulação do Cenário 5, lançou-se mão do Script do Cenário 1 e a partir daí foi implementado o MPLS, previsto na seção 2.6.3, ficando constatado que o serviço funcionou de forma satisfatória, pois foi permitido o uso de engenharia de tráfego.

Por último, foi simulada a técnica dos serviços diferenciados que se mostrou ser uma opção para a otimização do tráfego e melhorias dos serviços por parte dos prestadores do serviço, no entanto, não se pode prescindir de uma elevada capacidade de vazão na rede para a prestação do serviço com qualidade.

Em todas as simulações fica evidente que não é possível improvisar para oferecer serviços IPTV, pois não se trata de oferecer um pacote de serviços, prevendo que pelo menos um deles funcione. O IPTV vem com uma proposta diferenciada, onde se propõe a entregar vários serviços em simultâneo e com interatividade. Aliado a isso tem o surgimento de formatos de imagens com resoluções mais elevadas, o que vai exigir igualmente maior demanda por largura de banda para streamings de vídeo.

Ficou bem delineado que ao final, o que se espera de uma rede, é que ela seja confiável e disponível, ou seja, deve ser capaz de entregar os serviços a que se propõe. Para isso, a rede deve permitir um controle rígido da taxa de perdas e garantir um nível

de vazão elevado, tendo em vista que os serviços de voz e vídeo em tempo real que faz parte do IPTV são intolerantes a perdas de pacotes.

Considerando a necessidade de elevadas larguras de banda, conclui-se que as redes mais apropriadas são as redes de Fibra ótica. Isso em conjunto com uma tecnologia de aprimoramento de tráfego, como o MPLS, que durante as simulações demonstrou ser a mais indicada para gerenciar o controle de tráfego nas redes de telecomunicações, permitindo ainda, rapidez no processamento de leitura e encaminhamento de pacotes.

Não resta dúvida de que, para a entrega dos serviços IPTV é necessário o entendimento dos princípios de QoS, seus parâmetros, mecanismos, protocolos e algoritmos, no entanto é imprescindível a utilização de uma infraestrutura de rede que permita elevadas taxas de transferência, no contrário, as empresas podem até oferecer o serviço, mas não podem garantir sua entrega em tempo integral e com qualidade, vindo a degradar a QoE, o que não é o ideal.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades encontradas para o desenvolvimento da pesquisa foram diversas, as quais incluem as seguintes:

- a) Material bibliográfico escasso sobre o simulador de redes NS-2, o qual, por sua robustez se torna bem complexo desde sua instalação, demandando bastante esforço e tempo para uma perfeita assimilação;
- b) A grande diversidade de tecnologias envolvidas nos sistemas de redes de comunicação exige bastante acuidade do pesquisador e um esforço grandioso para se delinear com exatidão, uma determinada pesquisa nessa área;
- c) Outra grande dificuldade foi a falta de acesso aos artigos publicados nas bases bibliográficas de renome internacional, como por exemplo, a *Digital Library IEEE*, a *Digital Library ACM*, onde são publicados artigos de pesquisadores renomados nessa área das telecomunicações, e que não estão disponíveis aos alunos da UERN, de forma gratuita.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pode ser complementado com diversas pesquisas, tendo em vista ser o IPTV uma tecnologia relativamente nova e em fase de implantação. Podendo por exemplo, ser feitas as seguintes pesquisas:

- a) Este trabalho não abordou os aspectos de segurança que envolve o sistema, portanto uma abordagem complementar pode envolver os aspectos de segurança em IPTV, avaliando qual a melhor solução entre Acesso Condicional e Gestão de Direitos Digitais;
- b) Simulação de QoS em IPTV a partir do ajuste entre MPLS e DiffServ;
- c) Análise de viabilidade econômica para a implantação de IPTV na região metropolitana de Natal/RN;
- d) Simulação da entrega dos serviços IPTV por meio de redes sem fio.

REFERÊNCIAS

ALLIED-TELESYN. **Active vs. PON. Technical Brief. FTTx Technology Choices** . Ano 2004. Disponível em: <http://www.alliedtelesyn.com/media/pdf/active_vs_pon_a_bwp.pdf> Acessado em: 03 Jun 2013.

CABALLERO, José M. **Triple Play Services and Protocols**. WorkShop - Trend Communications. 2007. Disponível em: <http://dpm.postech.ac.kr/cs702/2007/paper_presentation/Triple_play_formats_protocols_Young.pdf >. Acessado em: 22 Jun 2013.

HENS, Francisco J.; CABALLERO, José M. **Triple play: Building the Converged Network for IP, Voip and IPTV**. 2008. Editora John Wiley & Son - Ltd. Inglaterra. ISBN 978-0-470-75367-5.

CAROZZA, M. P. **Avaliação de Redes de Próxima Geração para Serviços IPTV com base em IMS e WiMAX : Um Estudo de Caso**, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/10119>> Acessado em: 23 Mar 2013.

CARVALHO, Irina Paula Mendes dos Santos. **Estudo e Implementação de Mecanismos Multicast em Cenários FTTH/GPON**. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática. Universidade de Aveiro. 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10773/2169>> Acessado em: 28 jun. 2013.

COUTINHO, Mauro Margalho. **Network Simulator: Guia Básico para Iniciantes**. 2007. Disponível em: < <http://www.margalho.pro.br/aulas/simulacao/livroNS.pdf> > Acessado em: 20 Mar. 2013.

CRUZ, Alexandre Goes da. **Voz sobre IP**. UERJ - Centro de Tecnologias -Grupo de Teleinformática e Automação. Disponível em: < http://www.gta.ufrj.br/grad/00_2/alexandre/VoIP.html >. Acesso em: 10 jun. 2013.

DUQUE, L. H. **Avaliação da Qualidade de Vídeo em Redes IPTV com Acesso Baseado em ADSL**. Brasília: UNB, 2008. Disponível em: < http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/4209/1/2008_LucianoHDuque.pdf> Acessado em: 23 Mar. 2013

DLS-FORUM, WT-126. **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements and Mechanisms**. Versão 0.5, Fev. 2006, Disponível em: <<http://front.sjtu.edu.cn/IPTV/local/DSLForum-126v0.5.pdf>> Acessado em: 25 Mai 2013.

_____. Technical Report.-TR 126. **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements.** Dez. 2006. Disponível em: <<http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf>>. Acessado em: 25 Mai. 2013.

EINSTEIN, Albert. **Como Vejo o Mundo.** 1953. Tradução de H. P. de Andrade. 11ª Ed. Rio de Janeiro. Nova Fronteira, 1981. Disponível em: <[http://bvespirita.com/Como%20Vejo%20o%20Mundo%20\(Albert%20Einstein\).pdf](http://bvespirita.com/Como%20Vejo%20o%20Mundo%20(Albert%20Einstein).pdf)> Acessado em : 20 Abr. 2013.

FAHMY, Sonia. **Fidelity/Scalability Tradeoffs in Protocol Evaluation.** Purdue University, 2006. Disponível em: <http://wwic2006.unibe.ch/talks/wwic06_fahmy.pdf>. Acessado em: 15 Abr. 2013.

GONÇALVES, Lucas Coelho. CORRÊA, Marcos Estevo de Oliveira. **Tutorial NS-2.** Versão 2.35. 2005. Disponível em: <<http://www.midiacom.uff.br/~debora/redes1/pdf/tutorial-NS-2.pdf>>. Acessado em: 25 Mar. 2013.

GREGO, Maurício. **12 coisas que vale a pena saber sobre a TV 4K Ultra HD.** Revista EXAME. 2013. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/12-coisas-que-vale-a-pena-saber-sobre-a-tv-4k-ultra-hd-2>> Acessado em: 10 jul. 2013

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - MDIC - **Metodologia para análise de qualidade de acesso à Internet em Banda Larga Fixa.** Disponível em: <http://www.ceptro.br/pub/CEPTRO/BandaLarga/Metodologia_Internet_Verso_8.pdf> Acesso em: 03 Mai 2013.

ITU-T. REC H.261. **Video Codec for Audiovisual Services AT px64 Kbits.** Disponível em - <<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.261-199303-I/en>> Acessado em: 21 jun. 2013

_____. REC H.263. **Video coding for low bit rate communication.** Disponível em <<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.263-200501-I/en>> Acessado em: 21 jun. 2013.

_____. REC H.264. **Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services.** Disponível em:<<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-201201-S/en>> Acessado em: 21 Jun 2013.

_____. REC H.323 - **Packet-based multimedia communications systems.** 2009. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200912-I/en>>. Acessado em: 05 jul. 2013.

_____. IPTV - Focus Group, 2008. Disponível em <<http://www.itu.int/pub/T-PROC-IPTVFG-2008>> Acessado em: 30 de jun. 2013.

_____. REC Y.1901 - **Requirements for the support of IPTV services**. 2009. Disponível em < <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1901-200901-I> > Acessado em: 25 jun. 2013.

IETF. RFC 3031, **Multiprotocol Label Switching Architecture**, 2001. Disponível em: < <http://www.ietf.org/>.> Acessado em: 17 Mai 2013.

_____. RFC 3265 – **SIP Session Initiation Protocol**. 2002. Disponível em < <http://www.ietf.org/>.> Acessado em: 17 Mai 2013.

JANG, H. Y.; NOH, M. J. **Customer acceptance of IPTV service quality**. International Journal of Information Management, p. 582–592, 2011. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401211000302> > Acessado em: 15 Fev 2013.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down** - 5ª Ed. Pearson, 2010.

LEE, Kyeongja. **Modèle global pour la Qualité de Service dans les réseaux de FAI: intégration de DiffServ et de l'ingénierie de trafic basée sur MPLS**. These Doctorat. Ecole Centrale de Lille – Université des Sciences et Technologies de Lille. 2006. Disponível em: < [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/20/88/PDF/these_Kyeongja .pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/20/88/PDF/these_Kyeongja.pdf) > Acessado em: 10 Mai 2013.

LUCIO, Gilberto Flores, et al. **OPNET Modeler and Ns-2: Comparing the Accuracy Of Network Simulators for Packet-Level Analysis using a Network Testbed**. Disponível em: <<http://privatewww.essex.ac.uk/~fleum/weas.pdf>>. Acessado em: 15 Abr. 2013.

MCDONAGH, P.; PERRY, P.; MURPHY, L. **QoS-Aware IPTV Routing Algorithms**. In: Conference, Dublin Institute of Technology. Dublin, Ireland, 2009. Disponível em: < <http://arrow.dit.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=ittpapnin> > Acessado em: 22 Fev 2013

MUSHTAQ, M. **QoS Provisioning for Adaptive Video Streaming over P2P: Networks Transport Adaptatif et Contrôle de la Qualité des Services Vidéo sur les Réseaux Pair-à-Pair**. Université Bordeaux École Doctorale de Mathématiques et D'Informatique, 2008. Bordeaux - França. Disponível em: < http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/38/20/20/PDF/PhD_Dissertation_Mubashar_MUSHTAQ_Final.pdf > Acessado em: 5 Mai. 2013.

MARTINS, Paulo Jorge P.; JUNIOR, Antonio P. Cardoso. **IPTV - Internet Protocol Television**. 2013. Instituto Superior Técnico - Porto Salvo - Portugal. Disponível em <<http://web.ist.utl.pt/~ist165929/cmuf/artigo.pdf>> Acessado em: 23 Jun 2013

MOBIU, A.; HARTANTO, R.; WIDYAWAN, **Analysis Quality of Service from Internet Protocol Television (IP TV) Service**. International Journal of Informatics and Communication Technology, Vol.1, No.2, 2012, pp. 100~108. ISSN: 2252-8776 . Disponível em: < <http://iaesjournal.com/online/index.php/IJICT/article/view/594/405>> Acessado em: 22 Abr. 2013.

MU, M. et al. **Discrete quality assessment in IPTV content distribution networks. Signal Processing: Image Communication**, p. 339–357, 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596511000221> > Acessado em: 15 Fev 2013.

NICOLAS K., et al. **Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers**, DiffServ - RFC 2474, December 1998. Disponível em <<http://www.ietf.org/> > Acessado em: 28 Mai 2013.

NETO, Arlindo Follador. **Uma Avaliação dos Mecanismos de Transmissão de Tráfego para IPTV**. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. Belo Horizonte. 2009. Disponível em < http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8D7FRL/arlindo_follador_netto.pdf?sequence=1> Acessado em: 05 jun 2013.

NUNES, M. S. (2006). **Redes de Acesso – Parte C – Tecnologias de acesso DSL**. Instituto Superior Técnico – IST, Setembro 2006. Disponível em: <http://comp.ist.utl.pt/ec-ra/textos-aulas/ParteC-DSL.pdf>. Acessado em: 28 Mai 2013

O'DRISCOL, Gerard. **Next Generation IPTV Services and Technologies**. 2ª ed. United States: Wiley, 2008.

OPNET Technologies – **University Program**. 2013. Disponível em <http://www.opnet.com/university_program/index.html>. Acessado em: 10 Mai 2013.

PARK, Hong Shik. **QoS in IPTV technology**: - ICU - Information and Communications University. 2007. Disponível em: <<http://www.osia.or.kr/board/include/download.php?no=11&db=data2&fileno=10>>. Acessado em: 29 jun. 2013

QIU, Dongyu. **On the QoS of IPTV and Its Effects on Home Networks**. International Journal of Digital Multimedia Broadcasting - 2009. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/ijdmb/2010/253495/>>. Acessado em: 17 Mar 2013.

RIICK. **Diagrama do Sistema de Redes em Fibra Óptica**. 2010. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FTTX-fr.svg>>. Acessado em: 03 Jul 2013.

SANDVIG, Christian. Multicast. 2009. Disponível em < <https://blogs.law.harvard.edu/niftyc/archives/12> > Acessado em: 22 de jun 2013

TABOSA, Leonardo Thomaz Maya. **IPTV: Distribuição da Última Milha**. 2010. Escola Politécnica De Pernambuco, Universidade De Pernambuco, Recife. Disponível em < http://poli.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=7653:iptv-distribuio-da-... > Acessado em: 20 Abr 2013.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Editora Campus – 4ª Edição, 2003.

NS-2 Wiki. **The Network Simulator – NS-2**. 2006. Disponível em: < http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page > Acessado em: 20 Mar 2013.

WALKER, John Q.; HICKS, Jeffrey T.. **The Essential Guide to VoIP Implementation and Management**: Introductory Chapter: VoIP Basics. NetIQ Corporation . 2002. Disponível em: <<http://www.bandwidthco.com/whitepapers/netforensics/voip/voipimplementation-management/Introduction.pdf>>. Acessado em: 22 Mai 2013.

YUZER, T. Volkan. **Integração Internet Protocol Television (IPTV) Na educação a distância**: A matriz construtivista para Redes Sociais . Turkish Online Journal of Distance Education - TOJDE – 2011. ISSN 1302-6488. Disponível em: <http://tojde.anaolu.edu.tr/tojde43/articles/article_15.htm>. Acessado em: 02 jun 2013.

APÊNDICE A

Cenário Padrão para Simulações - Script OTcl

Cria uma instância do simulador

```
set ns [new Simulator]
set f0 [open cenar1.nam w]
```

#Arquivo para informações do NAM

```
$ns namtrace-all $f0
```

#Arquivo para informações de traces

```
set tf [open wtrace.tr w]
$ns trace-all $tf
```

Cria os arquivos para apresentar no Xgraph

```
set f1 [open Ftp-1.tr w]
set f2 [open Ftp-2.tr w]
set f3 [open Cbr-1.tr w]
set f4 [open Cbr-2.tr w]
set f5 [open Exp-1.tr w]
set f6 [open Exp-2.tr w]
```

Procedimento final da simulação

```
proc finish {} {
    global ns f0
    $ns flush-trace
    close $f0
    exec nam cenar1.nam &
    exec xgraph Ftp-1.tr Ftp-2.tr Cbr-1.tr Cbr-2.tr Exp-1.tr Exp-2.tr -geômetra
    1000x600 -bg White -lw 2 &
    exit 0
}
```

Indica cores dos tráfegos (Valor numérico é o identificador fid_ dos agentes)

```
$ns color 1 Blue
$ns color 2 Blue
$ns color 3 Yellow
$ns color 4 Yellow
$ns color 5 Red
$ns color 6 Red
```

#Cria os nos

```
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
```

```

set n3 [$ns node]
set n4 [$ns node]
set n5 [$ns node]
set n6 [$ns node]
set n7 [$ns node]
set n8 [$ns node]
set n9 [$ns node]
set n10 [$ns node]
set n11 [$ns node]
set n12 [$ns node]

```

#Identificando cada Nó na Rede (com uma etiqueta ...LABEL)

```

$n0 label "ftp_TCP"
$n1 label "cbr_UDP"
$n2 label "Exp_UDP"
$n3 label "ftp_TCP"
$n4 label "R-1"
$n5 label "R-2"
$n6 label "R-3"
$n7 label "R-4"
$n8 label "R-5"
$n9 label "R-6"
$n10 label "R-7"
$n11 label "Usuário-1"
$n12 label "Usuário-2"

```

#Cria links entre os nós e define capacidade

```

$ns duplex-link $n0 $n4 3Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n4 3Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n4 $n5 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n5 $n8 18Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n5 $n6 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n6 $n7 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n7 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n4 $n9 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n9 $n10 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n10 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n11 18Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n12 18Mb 8ms DropTail

```

Posiciona os nos em locais fixos (No Nam)

```

$ns duplex-link-op $n0 $n4 orient down-right
$ns duplex-link-op $n1 $n4 orient right
$ns duplex-link-op $n2 $n4 orient up-right
$ns duplex-link-op $n3 $n4 orient up

```

```

$ns duplex-link-op $n4 $n5 orient up-right
$ns duplex-link-op $n5 $n6 orient up-right
$ns duplex-link-op $n6 $n7 orient right
$ns duplex-link-op $n7 $n8 orient up-right
$ns duplex-link-op $n4 $n9 orient down-right
$ns duplex-link-op $n9 $n10 orient right
$ns duplex-link-op $n10 $n8 orient up-right
$ns duplex-link-op $n8 $n11 orient right
$ns duplex-link-op $n8 $n12 orient down-right
$ns duplex-link-op $n5 $n8 orient right

```

Procedimento para gravar os traces

```

proc record {} {
    global f1 sink1 f2 sink2 f3 sink3 f4 sink4 f5 sink5 f6 sink6
    set ns [Simulator instance]
    set time 0.5
    set now [$ns now]
    set bw1 [$sink1 set bytes_]
    set bw2 [$sink2 set bytes_]
    set bw3 [$sink3 set bytes_]
    set bw4 [$sink4 set bytes_]
    set bw5 [$sink5 set bytes_]
    set bw6 [$sink6 set bytes_]
    puts $f1 "$now [expr $bw1/$time*8/1000000]"
    puts $f2 "$now [expr $bw2/$time*8/1000000]"
    puts $f3 "$now [expr $bw3/$time*8/1000000]"
    puts $f4 "$now [expr $bw4/$time*8/1000000]"
    puts $f5 "$now [expr $bw5/$time*8/1000000]"
    puts $f6 "$now [expr $bw6/$time*8/1000000]"
    $sink1 set bytes_ 0
    $sink2 set bytes_ 0
    $sink3 set bytes_ 0
    $sink4 set bytes_ 0
    $sink5 set bytes_ 0
    $sink6 set bytes_ 0
    $ns at [expr $now+$time] "record"
}

```

Cria o agente TCP-1

```

set tcp1 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n0 $tcp1
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n11 $sink1
$ns connect $tcp1 $sink1
$tcp1 set fid_ 1

```

#Cria a aplicação ftp-1

```
set ftp1 [new Application/FTP]
$ftp1 attach-agent $tcp1
$ftp1 set type_ FTP
```

Cria o agente TCP-2

```
set tcp2 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n3 $tcp2
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n12 $sink2
$ns connect $tcp2 $sink2
$tcp2 set fid_ 2
```

#Cria a aplicação ftp-2

```
set ftp2 [new Application/FTP]
$ftp2 attach-agent $tcp2
$ftp2 set type_ FTP
```

#Cria o agente UDP-1

```
set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp1
set null1 [new Agent/Null]
set sink3 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n11 $sink3
$ns connect $udp1 $sink3
$udp1 set fid_ 3
```

#Cria a aplicação cbr-1

```
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr1 attach-agent $udp1
$cbr1 set packet_size_ 2000
$cbr1 set rate_ 10Mb
```

Cria o agente UDP-2

```
set udp2 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp2
set sink4 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n12 $sink4
$ns connect $udp2 $sink4
$udp2 set fid_ 4
```

#Cria a aplicação cbr-2

```
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr2 attach-agent $udp2
$cbr2 set packet_size_ 2000
$cbr2 set rate_ 10Mb
```

Cria o agente UDP-3

```
set udp3 [new Agent/UDP]
```

```

$ns attach-agent $n2 $udp3
set sink5 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n11 $sink5
$ns connect $udp3 $sink5
$udp3 set fid_ 5

```

#cria a aplicação Exponencial-1

```

set exponencial1 [new Application/Traffic/Exponential]
$exponencial1 attach-agent $udp3
$exponencial1 set packetSize_ 2000
$exponencial1 set rate_ 4Mb
$exponencial1 set burst_time_ 2.0
$exponencial1 set idle_time_ 0.0

```

Cria o agente UDP-4

```

set udp4 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n2 $udp4
set sink6 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n12 $sink6
$ns connect $udp4 $sink6
$udp4 set fid_ 6

```

#cria a aplicação Exponencial-2

```

set exponencial2 [new Application/Traffic/Exponential]
$exponencial2 attach-agent $udp4
$exponencial2 set packetSize_ 2000
$exponencial2 set rate_ 4Mb
$exponencial2 set burst_time_ 2.0
$exponencial2 set idle_time_ 0.0

```

#Determina inicio e fim dos tráfegos

```

$ns at 0.1 "record"
$ns at 0.2 "$ftp1 start"
$ns at 0.2 "$ftp2 start"
$ns at 0.6 "$cbr1 start"
$ns at 0.6 "$cbr2 start"
$ns at 0.7 "$exponencial1 start"
$ns at 0.7 "$exponencial2 start"
$ns at 18.0 "$ftp1 stop"
$ns at 18.0 "$ftp2 stop"
$ns at 18.0 "$cbr1 stop"
$ns at 18.0 "$cbr2 stop"
$ns at 18.0 "$exponencial1 stop"
$ns at 18.0 "$exponencial2 stop"

```

#chama o procedimento final

```

$ns at 18.0 "finish"

```

#Inicia a simulação

```

$ns run

```

APÊNDICE B

Cenário 5 – Implementação de MPLS - Script OTcl

Cria uma instância do simulador

```
set ns [new Simulator]
set f0 [open RedeMpls.nam w]
$ns namtrace-all $f0
set tf [open wtrace.tr w]
$ns trace-all $tf
```

Inserindo o roteamento dinâmico

```
$ns rtproto DV
```

Cria os arquivos para os traces

```
set f1 [open Ftp-1.tr w]
set f2 [open Ftp-2.tr w]
set f3 [open Cbr-1.tr w]
set f4 [open Cbr-2.tr w]
set f5 [open Exp-1.tr w]
set f6 [open Exp-2.tr w]
```

#Cria um procedimento final

```
proc finish {} {
    global ns f0
    $ns flush-trace
    close $f0
    exec nam RedeMpls.nam &
    exec xgraph Ftp-1.tr Ftp-2.tr Cbr-1.tr Cbr-2.tr Exp-1.tr Exp-2.tr -geometry
    1000x600 -bg White -lw 2 &
    exit 0
}
```

Identifica os tráfegos (o valor numérico é o identificador fid_ dos agentes)

```
$ns color 1 Blue
$ns color 2 Blue
$ns color 3 Yellow
$ns color 4 Yellow
$ns color 5 Red
$ns color 6 Red
```

criando os nos da rede

```
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
```

#determina quais os nós irão participar da rede MPLS (início e fim ON – OF)

```
$ns node-config -MPLS ON
set n4 [$ns node]
set n5 [$ns node]
set n6 [$ns node]
set n7 [$ns node]
set n8 [$ns node]
set n9 [$ns node]
set n10 [$ns node]
$ns node-config -MPLS OF
set n11 [$ns node]
set n12 [$ns node]
```

#Identificando cada nó na Rede

```
$n0 label "ftp_TCP"
$n1 label "cbr_UDP"
$n2 label "Exp_UDP"
$n3 label "ftp_TCP"
$n4 label "R-1"
$n5 label "R-2"
$n6 label "R-3"
$n7 label "R-4"
$n8 label "R-5"
$n9 label "R-6"
$n10 label "R-7"
$n11 label "Usuário-1"
$n12 label "Usuário-2"
```

#Cria links e determina a capacidade

```
$ns duplex-link $n0 $n4 3Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n4 3Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n4 $n5 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n5 $n8 18Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n5 $n6 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n6 $n7 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n7 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n4 $n9 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n9 $n10 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n10 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n11 18Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n12 18Mb 8ms DropTail
```

Posiciona os nos em locais fixos (No Nam)

```
$ns duplex-link-op $n0 $n4 orient down-right
$ns duplex-link-op $n1 $n4 orient right
```

```

$ns duplex-link-op $n2 $n4 orient up-right
$ns duplex-link-op $n3 $n4 orient up
$ns duplex-link-op $n4 $n5 orient up-right
$ns duplex-link-op $n5 $n6 orient up-right
$ns duplex-link-op $n6 $n7 orient right
$ns duplex-link-op $n7 $n8 orient up-right
$ns duplex-link-op $n4 $n9 orient down-right
$ns duplex-link-op $n9 $n10 orient right
$ns duplex-link-op $n10 $n8 orient up-right
$ns duplex-link-op $n8 $n11 orient right
$ns duplex-link-op $n8 $n12 orient down-right
$ns duplex-link-op $n5 $n8 orient right

```

#Ajusta monitores de filas

```

$ns duplex-link-op $n0 $n4 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n1 $n4 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n2 $n4 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n3 $n4 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n4 $n5 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n5 $n6 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n6 $n7 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n7 $n8 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n4 $n9 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n9 $n10 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n10 $n8 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n8 $n11 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n8 $n12 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $n5 $n8 queuePos 0.5

```

#Configurando mensagens ldps em todos os nos MPLS

```

for { set i 4 } { $i < 11 } { incr i } {
  for {set j [expr $i+1]} { $j < 11 } { incr j } {
    set a n$i
    set b n$j
    eval $ns LDP-peer $$a $$b
  }
}

```

Ajustando eventos LDPs (Label Distribution Protocol)

```

Classifier/Addr/MPLS set control_driven_ 1
Classifier/Addr/MPLS enable-on-demand
Classifier/Addr/MPLS enable-ordered-control

```

#Processo de gravação dos traces

```

proc record {} {
  global f1 sink1 f2 sink2 f3 sink3 f4 sink4 f5 sink5 f6 sink6
  set ns [Simulator instance]
}

```

```

set time 0.5
set now [$ns now]
set bw1 [$sink1 set bytes_]
set bw2 [$sink2 set bytes_]
set bw3 [$sink3 set bytes_]
set bw4 [$sink4 set bytes_]
set bw5 [$sink5 set bytes_]
set bw6 [$sink6 set bytes_]
puts $f1 "$now [expr $bw1/$time*8/1000000]"
puts $f2 "$now [expr $bw2/$time*8/1000000]"
puts $f3 "$now [expr $bw3/$time*8/1000000]"
puts $f4 "$now [expr $bw4/$time*8/1000000]"
puts $f5 "$now [expr $bw5/$time*8/1000000]"
puts $f6 "$now [expr $bw6/$time*8/1000000]"
$sink1 set bytes_ 0
$sink2 set bytes_ 0
$sink3 set bytes_ 0
$sink4 set bytes_ 0
$sink5 set bytes_ 0
$sink6 set bytes_ 0
$ns at [expr $now+$time] "record"
}

```

```
# ----- criação de agentes -----#
```

```
#tcp-1
```

```

set tcp1 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n0 $tcp1
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n11 $sink1
$ns connect $tcp1 $sink1
$tcp1 set fid_ 1

```

```
#ftp-1
```

```

set ftp1 [new Application/FTP]
$ftp1 attach-agent $tcp1
$ftp1 set type_ FTP

```

```
#tcp-2
```

```

set tcp2 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n3 $tcp2
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n12 $sink2
$ns connect $tcp2 $sink2
$tcp2 set fid_ 2

```

```
# ftp-2
```

```
set ftp2 [new Application/FTP]
```

```
$ftp2 attach-agent $tcp2  
$ftp2 set type_ FTP
```

#udp-1

```
set udp1 [new Agent/UDP]  
$ns attach-agent $n1 $udp1  
set null1 [new Agent/Null]  
set sink3 [new Agent/LossMonitor]  
$ns attach-agent $n11 $sink3  
$ns connect $udp1 $sink3  
$udp1 set fid_ 3
```

#cbr-1

```
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]  
$cbr1 attach-agent $udp1  
$cbr1 set packet_size_ 2000  
$cbr1 set rate_ 10Mb
```

#UDP-2

```
set udp2 [new Agent/UDP]  
$ns attach-agent $n1 $udp2  
set sink4 [new Agent/LossMonitor]  
$ns attach-agent $n12 $sink4  
$ns connect $udp2 $sink4  
$udp2 set fid_ 4
```

#cbr-2

```
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR]  
$cbr2 attach-agent $udp2  
$cbr2 set packet_size_ 2000  
$cbr2 set rate_ 10Mb
```

#UDP-3

```
set udp3 [new Agent/UDP]  
$ns attach-agent $n2 $udp3  
set sink5 [new Agent/LossMonitor]  
$ns attach-agent $n11 $sink5  
$ns connect $udp3 $sink5  
$udp3 set fid_ 5
```

#Exponential-1

```
set exponential1 [new Application/Traffic/Exponential]  
$exponential1 attach-agent $udp3  
$exponential1 set packetSize_ 2000  
$exponential1 set rate_ 4Mb  
$exponential1 set burst_time_ 2.0  
$exponential1 set idle_time_ 0.0
```

#UDP-4

```
set udp4 [new Agent/UDP]
```

```

$ns attach-agent $n2 $udp4
set sink6 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n12 $sink6
$ns connect $udp4 $sink6
$udp4 set fid_ 6

```

#Exponencial-2

```

set exponencial2 [new Application/Traffic/Exponential]
$exponencial2 attach-agent $udp4
$exponencial2 set packetSize_ 2000
$exponencial2 set rate_ 4Mb
$exponencial2 set burst_time_ 2.0
$exponencial2 set idle_time_ 0.0

```

configura a rota de cada tráfego pelos LSPs (rota1)

```

$ns at 0.4 "[$n8 get-module MPLS] ldp-trigger-by-withdraw 11 -1"
$ns at 0.5 "[$n4 get-module MPLS] make-explicit-route 8 4_5_6_7_8 3000 -1"
$ns at 0.65 "[$n4 get-module MPLS] flow-erlsp-install 11 -1 3000"
$ns at $testTime "[$n4 get-module MPLS] ldp-trigger-by-release 11 3000"

```

configura a rota de cada tráfego pelos LSPs (rota2)

```

$ns at 0.4 "[$n8 get-module MPLS] ldp-trigger-by-withdraw 12 -1"
$ns at 0.5 "[$n4 get-module MPLS] make-explicit-route 8 4_9_10_8 3001 -1"
$ns at 0.55 "[$n4 get-module MPLS] flow-erlsp-install 12 -1 3001"
$ns at $testTime "[$n4 get-module MPLS] ldp-trigger-by-release 12 3001"

```

#Determina inicio e fim dos tráfegos

```

$ns at 0.1 "record"
$ns at 0.2 "$ftp1 start"
$ns at 0.2 "$ftp2 start"
$ns at 0.6 "$cbr1 start"
$ns at 0.6 "$cbr2 start"
$ns at 0.7 "$exponencial1 start"
$ns at 0.7 "$exponencial2 start"
$ns at 18.0 "$ftp1 stop"
$ns at 18.0 "$ftp2 stop"
$ns at 18.0 "$cbr1 stop"
$ns at 18.0 "$cbr2 stop"
$ns at 18.0 "$exponencial1 stop"
$ns at 18.0 "$exponencial2 stop"

```

#chama o procedimento final

```

$ns at 18.0 "finish"

```

#Inicia a simulação

```

$ns run

```

APÊNDICE C

Implementação de DiffServ em Otcl

#Cria uma instância do simulador

```
set ns [new Simulator]
```

Especifica o parâmetro 'cir' de controle no TSW2CM, além de outras variáveis

```
set cir0 10000000
```

```
set rate0 10000000
```

```
set cir1 1000000
```

```
set rate1 1000000
```

```
set cir2 2000000
```

```
set rate2 2000000
```

```
set testTime 20.0
```

```
set packetSize 1000
```

#Arquivo para apresentação no NAM

```
set nf [open ds_4.nam w]
```

```
$ns namtrace-all $nf
```

#Arquivo para gravar todos os dados em único arquivo

```
set tf [open wtrace.tr w]
```

```
$ns trace-all $tf
```

#Cria arquivos para gravar os resultados individualmente

```
set f1 [open Ftp-1.tr w]
```

```
set f2 [open Ftp-2.tr w]
```

```
set f3 [open Cbr-1.tr w]
```

```
set f4 [open Cbr-2.tr w]
```

```
set f5 [open Exp-1.tr w]
```

```
set f6 [open Exp-2.tr w]
```

#Identificando o tráfego (a numeração é o código fid_)

```
$ns color 1 Red
```

```
$ns color 2 Red
```

```
$ns color 3 Blue
```

```
$ns color 4 Blue
```

```
$ns color 5 Yellow
```

```
$ns color 6 Yellow
```

Procedure Final

```
proc finish {} {
```

```

global ns nf
$ns flush-trace
close $nf
exec nam ds_4.nam &
exec xgraph Ftp-1.tr Ftp-2.tr Cbr-1.tr Cbr-2.tr Exp-1.tr Exp-2.tr -geometry
  1000x600 -bg White -lw 2 &
exit 0
}

```

#Procedimento para gravar os traces

```

proc record {} {
  global f1 sink1 f2 sink2 f3 sink3 f4 sink4 f5 sink5 f6 sink6
  set ns [Simulator instance]
  set time 0.5
  set now [$ns now]
  set bw1 [$sink1 set bytes_]
  set bw2 [$sink2 set bytes_]
  set bw3 [$sink3 set bytes_]
  set bw4 [$sink4 set bytes_]
  set bw5 [$sink5 set bytes_]
  set bw6 [$sink6 set bytes_]
  puts $f1 "$now [expr $bw1/$time*8/1000000]"
  puts $f2 "$now [expr $bw2/$time*8/1000000]"
  puts $f3 "$now [expr $bw3/$time*8/1000000]"
  puts $f4 "$now [expr $bw4/$time*8/1000000]"
  puts $f5 "$now [expr $bw5/$time*8/1000000]"
  puts $f6 "$now [expr $bw6/$time*8/1000000]"
  $sink1 set bytes_ 0
  $sink2 set bytes_ 0
  $sink3 set bytes_ 0
  $sink4 set bytes_ 0
  $sink5 set bytes_ 0
  $sink6 set bytes_ 0
  $ns at [expr $now+$time] "record"
}

```

Cria nós para formar a topologia de rede

```

set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
set n4 [$ns node]
set n5 [$ns node]
set n6 [$ns node]
set n7 [$ns node]
set n8 [$ns node]
set n9 [$ns node]

```

```
set n10 [$ns node]
set n11 [$ns node]
set n12 [$ns node]
```

Identificando cada nó na Rede

```
$n0 label "ftp_TCP"
$n1 label "cbr_UDP"
$n2 label "Exp_UDP"
$n3 label "ftp_TCP"
$n4 label "R-1"
$n5 label "R-2"
$n6 label "R-3"
$n7 label "R-4"
$n8 label "R-5"
$n9 label "R-6"
$n10 label "R-7"
$n11 label "Usuário-1"
$n12 label "Usuário-2"
```

#cria links entre nós

```
$ns duplex-link $n0 $n4 1Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n4 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n3 $n4 1Mb 8ms DropTail
```

#Os links pertencentes ao domínio DS deve ser Simplex-link

```
$ns simplex-link $n4 $n5 25Mb 8ms dsRED/edge
$ns simplex-link $n5 $n4 25Mb 8ms dsRED/core
$ns simplex-link $n5 $n8 25Mb 8ms dsRED/core
$ns simplex-link $n8 $n5 25Mb 8ms dsRED/edge
$ns duplex-link $n5 $n6 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n6 $n7 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n7 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n4 $n9 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n9 $n10 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n10 $n8 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n11 20Mb 8ms DropTail
$ns duplex-link $n8 $n12 20Mb 8ms DropTail
```

#Orientação dos nos na tela do NAM (Opcional)

```
$ns duplex-link-op $n0 $n4 orient down-right
$ns duplex-link-op $n1 $n4 orient right
$ns duplex-link-op $n2 $n4 orient up-right
$ns duplex-link-op $n3 $n4 orient up
$ns duplex-link-op $n4 $n5 orient up-right
$ns duplex-link-op $n5 $n6 orient up-right
$ns duplex-link-op $n6 $n7 orient right
$ns duplex-link-op $n7 $n8 orient up-right
```

```

$ns duplex-link-op $n4 $n9 orient down-right
$ns duplex-link-op $n9 $n10 orient right
$ns duplex-link-op $n10 $n8 orient up-right
$ns duplex-link-op $n8 $n11 orient right
$ns duplex-link-op $n8 $n12 orient down-right
$ns duplex-link-op $n5 $n8 orient right

```

```
# - - - - - Policiamento de filas1 - - - - - #
```

```
#Variáveis para identificar cada uma das filas
```

```

set FN4N5 [[$ns link $n4 $n5] queue]
set FN8N5 [[$ns link $n8 $n5] queue]
set FN5N4 [[$ns link $n5 $n4] queue]
set FN5N8 [[$ns link $n5 $n8] queue]

```

```
# Parâmetros DS RED n4 (borda de entrada) para n5 (núcleo)
```

```

$FN4N5 meanPktSize $packetSize
$FN4N5 set numQueues_ 2
$FN4N5 setNumPrec 1
$FN4N5 addPolicyEntry [$n1 id] [$n11 id] TSW2CM 0 $cir0
$FN4N5 addPolicyEntry [$n1 id] [$n12 id] TSW2CM 0 $cir0
$FN4N5 addPolicerEntry TSW2CM 0 0
$FN4N5 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN4N5 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN4N5 addPHBEntry 10 0 0
$FN4N5 addPHBEntry 0 1 0

```

```
# parâmetros DS RED n8 (borda de saída) par n5 (nasceu)
```

```

$FN8N5 meanPktSize $packetSize
$FN8N5 set numQueues_ 2
$FN8N5 setNumPrec 1
$FN8N5 addPolicyEntry [$n11 id] [$n1 id] TSW2CM 0 $cir0
$FN8N5 addPolicyEntry [$n12 id] [$n1 id] TSW2CM 0 $cir0
$FN8N5 addPolicerEntry TSW2CM 0 0
$FN8N5 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN8N5 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN8N5 addPHBEntry 10 0 0
$FN8N5 addPHBEntry 0 1 0

```

```
# parâmetros DS RED n5 (núcleo) para n4 (borda de entrada)
```

```

$FN5N4 setSchedulerMode WRR
$FN5N4 addQueueWeights 0 8
$FN5N4 addQueueWeights 1 2
$FN5N4 meanPktSize $packetSize
$FN5N4 set numQueues_ 2
$FN5N4 setNumPrec 1

```

```

$FN5N4 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N4 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N4 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N4 configQ 1 0 10 20 0.10

```

paramentos DS RED n5 (núcleo) para n8 (borda de entrada)

```

$FN5N8 setSchedulerMode WRR
$FN5N8 addQueueWeights 0 8
$FN5N8 addQueueWeights 1 2
$FN5N8 meanPktSize $packetSize
$FN5N8 set numQueues_ 2
$FN5N8 setNumPrec 1
$FN5N8 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N8 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N8 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N8 configQ 1 0 10 20 0.10

```

- - - - - Policiamento de filas2 - - - - -

#Parâmetros para políticas de filas

```

set FN4N5_2 [[$ns link $n4 $n5] queue]
set FN8N5_2 [[$ns link $n8 $n5] queue]
set FN5N4_2 [[$ns link $n5 $n4] queue]
set FN5N8_2 [[$ns link $n5 $n8] queue]

```

paramentos DS RED n4 (borda de entrada) para n5 (núcleo)

```

$FN4N5_2 meanPktSize $packetSize
$FN4N5_2 set numQueues_ 2
$FN4N5_2 setNumPrec 1
$FN4N5_2 addPolicyEntry [$n0 id] [$n11 id] TSW2CM 10 $cir1
$FN4N5_2 addPolicyEntry [$n3 id] [$n12 id] TSW2CM 10 $cir1
$FN4N5_2 addPolicerEntry TSW2CM 10 10
$FN4N5_2 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN4N5_2 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN4N5_2 addPHBEntry 10 0 0
$FN4N5_2 addPHBEntry 0 1 0

```

paramentos DS RED n8 (boda de saída) par n5 (núcleo)

```

$FN8N5_2 meanPktSize $packetSize
$FN8N5_2 set numQueues_ 2
$FN8N5_2 setNumPrec 1
$FN8N5_2 addPolicyEntry [$n11 id] [$n0 id] TSW2CM 10 $cir1
$FN8N5_2 addPolicyEntry [$n12 id] [$n3 id] TSW2CM 10 $cir1
$FN8N5_2 addPolicerEntry TSW2CM 10 10
$FN8N5_2 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN8N5_2 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN8N5_2 addPHBEntry 10 0 0

```

```
$FN8N5_2 addPHBEntry 0 1 0
```

```
# paramentos DS RED n5 (núcleo) para n4 (borda de entrada)
```

```
$FN5N4_2 setSchedulerMode WRR
$FN5N4_2 addQueueWeights 0 8
$FN5N4_2 addQueueWeights 1 2
$FN5N4_2 meanPktSize $packetSize
$FN5N4_2 set numQueues_ 2
$FN5N4_2 setNumPrec 1
$FN5N4_2 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N4_2 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N4_2 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N4_2 configQ 1 0 10 20 0.10
```

```
# paramentos DS RED n5 (núcleo) para n4 (borda de entrada)
```

```
$FN5N8_2 setSchedulerMode WRR
$FN5N8_2 addQueueWeights 0 8
$FN5N8_2 addQueueWeights 1 2
$FN5N8_2 meanPktSize $packetSize
$FN5N8_2 set numQueues_ 2
$FN5N8_2 setNumPrec 1
$FN5N8_2 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N8_2 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N8_2 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N8_2 configQ 1 0 10 20 0.10
```

```
# - - - - - Policiamento de filas3 - - - - - #
```

```
#Ligações entre núcleo e bordas
```

```
set FN4N5_3 [[$ns link $n4 $n5] queue]
set FN8N5_3 [[$ns link $n8 $n5] queue]
set FN5N4_3 [[$ns link $n5 $n4] queue]
set FN5N8_3 [[$ns link $n5 $n8] queue]
```

```
# paramentos DS RED n4 (borda de entrada) para n5 (núcleo)
```

```
$FN4N5_3 meanPktSize $packetSize
$FN4N5_3 set numQueues_ 2
$FN4N5_3 setNumPrec 1
$FN4N5_3 addPolicyEntry [$n2 id] [$n11 id] TSW2CM 0 $cir2
$FN4N5_3 addPolicyEntry [$n2 id] [$n12 id] TSW2CM 0 $cir2
$FN4N5_3 addPolicerEntry TSW2CM 0 0
$FN4N5_3 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN4N5_3 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN4N5_3 addPHBEntry 10 0 0
$FN4N5_3 addPHBEntry 0 1 0
```

```
# paramentos DS RED n8 (boda de saída) par n5 (núcleo)
```

```

$FN8N5_3 meanPktSize $packetSize
$FN8N5_3 set numQueues_ 2
$FN8N5_3 setNumPrec 1
$FN8N5_3 addPolicyEntry [$n11 id] [$n2 id] TSW2CM 0 $cir2
$FN8N5_3 addPolicyEntry [$n12 id] [$n2 id] TSW2CM 0 $cir2
$FN8N5_3 addPolicerEntry TSW2CM 0 0
$FN8N5_3 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN8N5_3 configQ 1 0 10 20 0.10
$FN8N5_3 addPHBEntry 10 0 0
$FN8N5_3 addPHBEntry 0 1 0

```

paramentos DS RED n5 (núcleo) para n4 (borda de entrada)

```

$FN5N4_3 setSchedulerMode WRR
$FN5N4_3 addQueueWeights 0 8
$FN5N4_3 addQueueWeights 1 2
$FN5N4_3 meanPktSize $packetSize
$FN5N4_3 set numQueues_ 2
$FN5N4_3 setNumPrec 1
$FN5N4_3 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N4_3 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N4_3 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N4_3 configQ 1 0 10 20 0.10

```

paramentos DS RED n5 (núcleo) para n4 (borda de entrada)

```

$FN5N8_3 setSchedulerMode WRR
$FN5N8_3 addQueueWeights 0 8
$FN5N8_3 addQueueWeights 1 2
$FN5N8_3 meanPktSize $packetSize
$FN5N8_3 set numQueues_ 2
$FN5N8_3 setNumPrec 1
$FN5N8_3 addPHBEntry 10 0 0
$FN5N8_3 addPHBEntry 0 1 0
$FN5N8_3 configQ 0 0 20 40 0.02
$FN5N8_3 configQ 1 0 10 20 0.10

```

- - - - - Agentes - - - - -

#agente tcp-1

```

set tcp1 [new Agent/TCP]
$tcp1 set fid_ 1
$tcp1 set window_ 9
$tcp1 set packetSize_ 500Kb
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n0 $tcp1
$ns attach-agent $n11 $sink1
$ns connect $tcp1 $sink1

```

```
set ftp1 [$tcp1 attach-source FTP]
```

#agente tcp-2

```
set tcp2 [new Agent/TCP]
$tcp2 set fid_ 2
$tcp2 set window_ 9
$tcp2 set packetSize_ 500Kb
set sink2 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n3 $tcp2
$ns attach-agent $n12 $sink2
$ns connect $tcp2 $sink2
set ftp2 [$tcp2 attach-source FTP]
```

#cria o agente udp0

```
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 attach-agent $udp0
$cbr0 set packet_size_ $packetSize
$udp0 set packetSize_ $packetSize
$cbr0 set rate_ $rate0
set sink3 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n11 $sink3
$ns connect $udp0 $sink3
$udp0 set fid_ 3
```

#Cria o agente UDP1

```
set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp1
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr1 attach-agent $udp1
$cbr1 set packet_size_ $packetSize
$udp1 set packetSize_ $packetSize
$cbr1 set rate_ $rate0
set sink4 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n12 $sink4
$ns connect $udp1 $sink4
$udp1 set fid_ 4
```

Cria o agente udp-2

```
set udp2 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n2 $udp2
set sink5 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n11 $sink5
$ns connect $udp2 $sink5
$udp2 set fid_ 5
```

aplicação exponencial-1

```

set exp1 [new Application/Traffic/Exponential]
$exp1 attach-agent $udp2
$exp1 set packet_size_ $packetSize
$exp1 set rate_ $rate2
$exp1 set burst_time_ 2.0
$exp1 set idle_time_ 0.0

```

#Cria o agente udp-3

```

set udp3 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n2 $udp3
set sink6 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $n12 $sink6
$ns connect $udp3 $sink6
$udp3 set fid_ 6

```

exponencial-2

```

set exp2 [new Application/Traffic/Exponential]
$exp2 attach-agent $udp3
$exp2 set packet_size_ $packetSize
$exp2 set rate_ $rate2
$exp2 set burst_time_ 2.0
$exp2 set idle_time_ 0.0

```

- - - - -Apresentação do Policiamento de filas - - - - -

#imprime parâmetros da fila_1

```

$FN4N5 printPolicyTable
$FN4N5 printPolicerTable
$ns at 10.0 "$FN5N8 printStats"
$ns at 20.0 "$FN5N8 printStats"

```

#Imprime parâmetros da fila_2

```

$FN4N5_2 printPolicyTable
$FN4N5_2 printPolicerTable
$ns at 10.0 "$FN5N8_2 printStats"
$ns at 20.0 "$FN5N8_2 printStats"

```

#Imprime parâmetros da fila_3

```

$FN4N5_3 printPolicyTable
$FN4N5_3 printPolicerTable
$ns at 10.0 "$FN5N8_3 printStats"
$ns at 20.0 "$FN5N8_3 printStats"

```

#Determina inicio e fim da simulação

```

$ns at 0.1 "record"
$ns at 0.2 "$ftp1 start"
$ns at 0.3 "$ftp2 start"

```

```
$ns at 0.4 "$cbr0 start"  
$ns at 0.4 "$cbr1 start"  
$ns at 0.6 "$exp1 start"  
$ns at 0.6 "$exp2 start"  
$ns at $testTime "$ftp1 stop"  
$ns at $testTime "$ftp2 stop"  
$ns at $testTime "$cbr0 stop"  
$ns at $testTime "$cbr1 stop"  
$ns at $testTime "$exp1 stop"  
$ns at $testTime "$exp2 stop"  
$ns at [expr $testTime + 1.0] "finish"  
#Inicia a Simulação  
$ns run
```