



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ

**CAMPUS LUIZ MENEGHEL**

**KAIRO HENRIQUE DE PAULA PAVAN**

**ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

Uma análise de simulações utilizando MPLS

Bandeirantes

2009

**KAIRO HENRIQUE DE PAULA PAVAN**

## **ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

Uma análise de simulações utilizando MPLS

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Universidade Estadual do  
Norte do Paraná - Campus Luiz  
Meneghel, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Bacharel em  
Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Msc. Ricardo Gonçalves  
Coelho

Bandeirantes

2009

**KAIRO HENRIQUE DE PAULA PAVAN**

## **ENGENHARIA DE TRÁFEGO**

Uma análise de simulações utilizando MPLS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Estadual do Norte do Paraná - Campus Luiz Meneghel, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

### **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Msc. Ricardo Gonçalves Coelho  
UENP – Campus Luiz Meneghel

---

Prof. Msc. Ailton José Bonifácio  
UENP – Campus Luiz Meneghel

---

Prof. Luiz Fernando L. do Nascimento  
UENP – Campus Luiz Meneghel

Bandeirantes, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais...

Estiveram sempre ao meu lado

dando apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois sem ele nada é possível.

A toda minha família, pela confiança, motivação, incentivo e apoio. Principalmente aos meus pais, que durante toda esta jornada não pouparam esforços para me dar apoio.

Ao Prof. Msc. Ricardo Gonçalves Coelho, braço amigo de todas as etapas deste trabalho.

Aos amigos da X turma de Sistemas de Informação da UENP/CLM, Luiz Gustavo, Rafael, Danilo, André, Carlos, Marcel e Paula, pois juntos trilhamos uma etapa importante em nossas vidas, entre momentos de descontração, preocupação desespero e alegria aos quais levarei lembranças por toda minha vida.

Aos professores, pelos momentos de pressão, descontração, aconselhamento e discussões, que contribuíram em muito para meu crescimento pessoal e profissional.

A minha namorada Jociely, pela compreensão, paciência e por estar sempre ao meu lado durante todo o tempo dedicado à realização deste trabalho

Aos amigos de trabalho e profissionais que contribuíram para a realização deste, através de ajuda desde com correções até contribuições com informações valiosas que agregaram qualidade aos resultados obtidos.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

"...não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas.  
O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos  
ou desistem deles."

Augusto Cury

## Resumo

O avanço das tecnologias de redes e redução do custo dos equipamentos tornaram possíveis a popularização da internet, aumentando a demanda por serviços e aplicações que consomem cada vez mais os recursos das redes. Um dos grandes desafios de empresas de telecomunicações, como provedores de internet é fornecer serviços com qualidade e menor custo para os clientes, a fim de garantir a satisfação do cliente e ter um diferencial competitivo no mercado de prestação de serviços de internet. Neste trabalho foram estudadas técnicas para gerenciar e otimizar a utilização de recursos das redes através da Engenharia de Tráfego aliada ao MPLS como protocolo de roteamento. Para validar o desempenho da implantação do MPLS e Engenharia de Tráfego na rede, foram realizadas simulações no *Network Simulator*, utilizando cenários de uma rede baseada em uma topologia real de um provedor de internet, no qual foram comparados resultados de simulações da rede com o protocolo IP e encaminhamento por número de saltos, com resultados de simulações da mesma rede utilizando MPLS e Engenharia de Tráfego.

Palavras-chave: Engenharia de Tráfego, MPLS, *Network Simulator*.

## **Abstract**

The advance of network technologies and reducing the cost of equipment made possible the popularization of the Internet and increased demand for services and applications that consume more and more network resources. One of the bigger challenges for telecommunications companies, as Internet service providers is to provide quality services and lower costs to customers to ensure customer satisfaction and have a competitive market to provide Internet services. In this paper are studied techniques to manage and optimize the use of network resources by means of the Traffic Engineering and MPLS combined with the routing protocol. To validate the performance of the deployment of MPLS and Traffic Engineering in the network, simulations were performed using the Network Simulator, using scenarios of a network based on a real topology of an ISP, which compared the results of simulations of network protocol IP and routing by number of hops, with results of simulations of the same network using MPLS and Traffic Engineering.

Keywords: Traffic Engineering, MPLS, Network Simulator.

## **LISTA DE SIGLAS**

**ATM** – *Asynchronous Transfer Mode*  
**CBR** – *Constraint-Based Routing*  
**CBQ** - *Class-based queueing*  
**CSR** – *Cell-Switched Router*  
**DARPA** - *Defense Advanced Research Projects Agency*  
**ET** – *Engenharia de Tráfego*  
**EUA** – *Estados Unidos da América*  
**EXP** – *Expedited Forwarding*  
**FEC** – *Forwarding Equivalence Class*  
**FQ** – *Far Queueing*  
**ICIR** – *Internet Communications and Information Research*  
**IETF** - *Internet Engineering Task Force*  
**IGP** - *Interior Gateway Protocol*  
**IP** – *Internet Protocol*  
**ISI** - *Information Science Institute*  
**ISO** – *International Standards Organization*  
**LBNL** - *Lawrence Berkley National Laboratory*  
**LER** – *Label Edge Router*  
**LDP** – *Label Distribution Protocol*  
**LIB** – *Label Information Base*  
**LSP** – *Label Switching Path*  
**LSR** – *Label Switching*  
**MNS** – *MPLS Network Simulator*  
**MPLS** – *Multiprotocol Label Switching*  
**NAM** – *Network Animator*  
**NS** – *Network Simulator*  
**NSF** - *National Science Foundation*  
**OSI** – *Open Systems Interconnection*  
**OSPF** – *Open Shortest Path First*

**PARC** - *Palo Alto Research Center*  
**PDU** – *Protocol Data Unit*  
**QoS** – *Quality of Service*  
**RIP** – *Routing Information Protocol*  
**RISC** - *Reduced Instruction Set Computer*  
**SFQ** - *Stochastic Fair Queueing*  
**TCP** – *Transmission Control Protocol*  
**TOS** – *Type Of Service*  
**TTL** – *Time to Live*  
**UC** – *Universidade da Califórnia*  
**UDP** – *User Datagram Protocol*  
**VINT** – *Virtual InterNetwork Testbet*  
**RFC** – *Request for Comments*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Roteamento com RIP e com aplicação de ET – Fonte: Nilton A. 2006 .....	20
Figura 2: LERs e LPS em um domínio MPLS – Fonte: Roberto Dias. 2004.....	24
Figura 3: Localização do MPLS no modelo OSI – Marcio Oliveira. 2005 .....	26
Figura 4: Pacote MPLS – Fonte Eric Osbourne. 2003 .....	26
Figura 5: Arquitetura do Network Simulator – Marcos Portnoi. 2002.....	36
Figura 6: Etapas do processo de simulação.....	40
Figura 7: Topologia utilizada .....	42
Figura 8: Simulação da rede IP .....	45
Figura 9: Pacotes cruzando a rede MPLS.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cidades e nomes dos roteadores.....	42
Tabela 2: Eventos da simulação da rede IP .....	44
Tabela 3: Descarte de pacotes na rede IP .....	48
Tabela 4: Eventos da simulação na rede MPLS.....	51
Tabela 5: Descarte de pacotes na rede MPLS.....	54
Tabela 6: Descarte de pacotes nas redes IP e MPLS.....	59
Tabela 7: Comparação entre as simulações .....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Atraso dos pacotes de áudio na rede IP .....	46
Gráfico 2: Jitter do fluxo de áudio na rede IP .....	47
Gráfico 3: Taxa de transmissão de áudio na rede IP .....	48
Gráfico 4: Vazão do fluxo FTP na rede IP .....	49
Gráfico 5: Atraso dos pacotes de áudio na rede MPLS.....	52
Gráfico 6: Jitter do fluxo de áudio na rede MPLS .....	53
Gráfico 7: Vazão do fluxo de áudio na rede MPLS.....	54
Gráfico 8: Vazão do fluxo FTP na rede MPLS.....	55
Gráfico 9: Atraso do fluxo de áudio na rede MPLS .....	56
Gráfico 10: Jitter do áudio na rede IP e MPLS .....	57
Gráfico 11: Vazão do fluxo de áudio nas redes IP e MPLS .....	58
Gráfico 12: Vazão do fluxo FTP nas redes IP e MPLS.....	60
Gráfico 13: Pacotes FTP recebidos.....	61

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.2. JUSTIFICATIVAS.....	17
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO.....	19
2.2. MPLS ( <i>MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING</i> ).....	22
2.2.1. FUNCIONAMENTO DE UMA REDE MPLS .....	23
2.2.2. RÓTULO MPLS .....	25
2.2.3. LIB ( <i>LABEL INFORMATION BASE</i> ) .....	27
2.2.4. LDP ( <i>LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL</i> ).....	27
2.2.5. FEC ( <i>FORWARDING EQUIVALENCE CLASSES</i> ).....	29
2.3. MPLS E ENGENHARIA DE TRÁFEGO .....	29
2.3.1. ATRIBUTOS E CARACTERÍSTICAS DE TRONCOS DE TRÁFEGO.....	30
2.3.2. ATRIBUTOS DE PARÂMETROS DE TRÁFEGO .....	31
2.3.3. SELEÇÃO DE CAMINHOS GENÉRICOS E MANUTENÇÃO DE ATRIBUTOS.....	31
2.3.4. ATRIBUTO DE PRIORIDADE .....	31
2.3.5. ATRIBUTO DE ANTECIPAÇÃO.....	32
2.3.6. ATRIBUTO DE RESILIÊNCIA .....	32
2.3.7. ATRIBUTO DE POLICIAMENTO.....	32
2.3.8. CBR ( <i>CONSTRAINT-BASED ROUTING</i> ) .....	32
2.4. NETWORK SIMULATOR.....	33
2.4.1. CARACTERÍSTICAS DO NETWORK SIMULATOR .....	33
2.4.2. ESTRUTURA DO SIMULADOR .....	35
2.4.3. PROCESSO DE SIMULAÇÃO .....	36
3. METODOLOGIA.....	39
4. SIMULAÇÕES.....	41
4.1. TOPOLOGIA .....	41
4.2. CENÁRIOS .....	43
4.3. SIMULAÇÃO DA REDE IP .....	44
4.3.1. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DA REDE IP .....	45
4.4. SIMULAÇÃO DA REDE MPLS.....	49
4.4.1. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DA REDE MPLS .....	51

4.5.	COMPARAÇÃO ENTRE A REDE IP E A REDE MPLS .....	55
4.6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
5.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	63
	REFERÊNCIAS .....	65

# 1. INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de redes e a redução dos custos de equipamentos e banda possibilitaram o surgimento de novas aplicações que consomem cada vez mais os recursos das redes. Esta demanda fez com que a adoção de novas políticas operacionais e de gerenciamento tornassem itens vitais para o oferecimento de qualidade no serviço prestado pela rede com um custo aceitável, tais como técnicas de diferenciação de serviços.

Porém no modelo de roteamento convencional que atualmente a Internet se estrutura, o encaminhamento de pacotes é feito sem nenhum tratamento ou regra de consumo de banda ou prioridade de entrega. No entanto o ideal seria que nem todos os pacotes recebessem o mesmo tratamento, pois os fluxos de dados de algumas aplicações são mais sensíveis a determinados fatores como atraso ou perda de pacotes, como por exemplo, aplicações em tempo real. E estas necessitam de um tratamento diferenciado para que alguns requisitos essenciais ao seu funcionamento sejam garantidos.

O gerenciamento da qualidade de serviços (QoS) vem sendo a estratégia mais favorável ao controle, otimização e melhor aproveitamento dos recursos. Neste contexto, a Engenharia de Tráfego (ET) apresenta a melhor forma de aproveitar os recursos de rede existentes, com boa redução de custos. Um elemento muito importante para aplicação de Engenharia de Tráfego em redes IP é o protocolo MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), pois essa tecnologia possibilita a extensão das funcionalidades do protocolo tornando possível a execução de roteamento explícito.

## 1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo estudar técnicas de Engenharia de Tráfego para gerenciamento e otimização da utilização dos recursos da rede, através da implantação do protocolo de roteamento por troca de rótulos MPLS. Também comparar a eficiência dos resultados obtidos, através de simulações, entre MPLS e outras técnicas de roteamento mais usadas popularmente.

### 1.1.1. Objetivos Específicos

Para atingir os objetivos gerais deste trabalho será necessário:

- Estudar técnicas de Engenharia de Tráfego;
- Estudar o protocolo MPLS;
- Estudar o funcionamento do protocolo MPLS trabalhando em conjunto com técnicas de Engenharia de tráfego;
- Analisar a ferramenta de simulação de redes *Network Simulator*, juntamente com o NAM (*Network Animator*);
- Efetuar simulações de cenários de redes com técnicas de roteamento que usam algoritmos que calculam o caminho por número de saltos;
- Analisar os resultados das simulações da técnica de roteamento por números de saltos;
- Efetuar simulações de cenários de redes com roteamento realizado pelo protocolo MPLS;
- Analisar os resultados obtidos das simulações realizadas com o protocolo MPLS;
- Realizar simulações em cenários de redes utilizando roteamento realizado por MPLS, dando tratamento diferenciado aos fluxos de tráfego;
- Analisar os resultados obtidos das simulações feitas com MPLS e com fluxos de tráfego com tratamento diferenciado;
- Comparar os resultados obtidos das diferentes simulações e estudar seu desempenho;

## 1.2. JUSTIFICATIVAS

A crescente demanda por produtos e serviços vem fazendo com que as empresas busquem tecnologias e alternativas para oferecer produtos e serviços com qualidade e menor custo, visando acrescentar atratividade e competitividade.

Na área das telecomunicações, como provedores de Internet, geralmente o desafio é oferecer um acesso de qualidade, com garantia de velocidade, estabilidade e baixo custo, de modo a conseguir a satisfação do cliente.

As tecnologias de roteamento utilizadas na Internet geralmente utilizam o melhor caminho, seja no número de saltos, ou maior largura de banda, quando a largura de banda fica escassa a saída é investir e melhorar os recursos. Quando ocorre uma indisponibilidade em um *link*, caso a rede seja redundante, o tráfego é redirecionado para outro caminho, situação a qual geralmente ocorrem congestionamentos, inutilizando a rede.

Com a utilização dos princípios da Engenharia de Tráfego é possível gerenciar melhor a rede e seus recursos, e aliado ao MPLS, que utiliza roteamento por rótulos, é possível, em condições congestionamento de um *link* redirecionar e distribuir melhor o fluxo de dados pela rede, otimizando a utilização dos recursos, pois esse método utiliza entre outros, o estado do *link* e prioridade dos pacotes como métrica para decidir o melhor caminho.

Então, o conhecimento e documentação do comportamento de diferentes tipos de fluxos de dados em condições adversas da rede, comparando o desempenho das técnicas de encaminhamento convencionais e MPLS com engenharia de tráfego justifica a realização deste trabalho.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte maneira. A seção 2 apresenta o embasamento teórico para a realização deste trabalho, na qual a subseção 2.1 trás os conceitos de Engenharia de Tráfego; a subseção 2.2 aborda as características do MPLS; na subseção 2.3 são expostos os conceitos de MPLS aliado a Engenharia de tráfego; a subseção 2.4 discorre sobre o *Network Simulator* e suas características. Na seção 3 são apresentados os métodos e procedimentos utilizados na elaboração

deste trabalho. Na seção 4 todo o processo de simulação dos cenários e comparações, sendo que na subseção 4.1 tem-se a descrição da topologia; na subseção 4.2 tem-se as informações sobre os cenários simulados; na subseção 4.3 é apresentada a simulação da rede IP; na subseção 4.4 é exposta a simulação da rede MPLS; na subseção 4.5 encontram-se as comparações entre a rede IP e a rede MPLS; a subseção 4.6 são apresentadas as considerações finais sobre os resultados da comparação entre as simulações e os resultados encontrados. Por fim na seção 5 é exposta uma breve conclusão sobre o trabalho e os trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Engenharia de Tráfego

Engenharia de Tráfego é a utilização de princípios tecnológicos e científicos para a medição, caracterização, modelagem e controle do tráfego com o objetivo de avaliação e otimização do desempenho das redes IP (AWDUCHE et al., 2000). De acordo com (MAIA. Nilton, 2006) a melhora na QoS prestada pela rede devido a aplicação da ET pode ser observada através de parâmetros de tráfego tais como atraso fim-a-fim, variação do atraso ou perda de pacotes, bem como pela percepção humana, como por exemplo, em aplicações multimídia.

Awduche (2000) define o termo engenharia de tráfego para caracterizar o processo de criação de caminhos MPLS e atribuição de datagramas a cada caminho. Além de definir o conjunto de LSRs para cada caminho, a engenharia de tráfego permite que os gerentes usem técnicas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service*) para controlar a taxa de tráfego em cada caminho.

As atividades básicas de uma rede MPLS podem ser definidas manualmente ou através de técnicas automatizadas para definir os caminhos mais adequados para determinadas agregação de fluxos dentro do domínio MPLS. Os objetivos básicos dessas atividades são controle e otimização do roteamento a fim de distribuir mais uniformemente os fluxos de dados dentro da rede de forma a obter o melhor aproveitamento dos recursos.

A Figura 1 ilustra dois modelos, o modelo da esquerda mostra uma técnica de roteamento usado pelo protocolo RIP (*Routing Information Protocol*), que usa o número de saltos para definir a rota, sendo um dos protocolos de roteamento mais populares. O modelo da direita mostra uma implementação de ET com políticas que modelam o tráfego para fluir por diferentes caminhos, realizando um melhor aproveitamento dos recursos da rede e evitando um possível congestionamento.

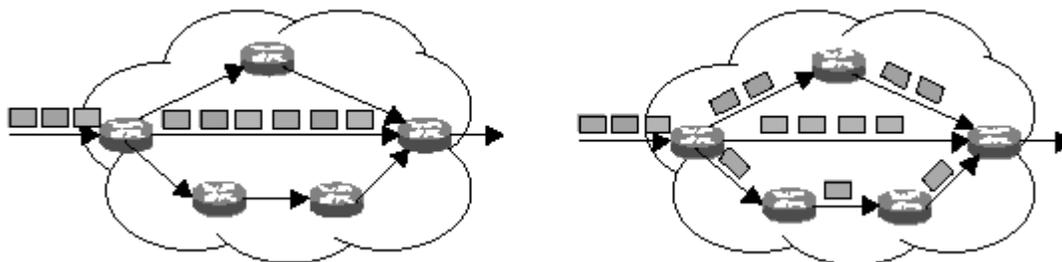


Figura 1: Roteamento com RIP e com aplicação de ET - Fonte: Nilton Alves. 2006

É necessária a definição de políticas para aceitação, estabelecimento e manutenção de conexões, dessa maneira torna-se possível restringir o acesso a recursos da rede que estejam congestionados e/ou regular a demanda para diminuir a situação de sobrecarga.

A Engenharia de tráfego engloba quatro problemas básicos:

- Controle de admissão de novas conexões;
- Roteamento de pacotes baseado em restrições;
- Re-roteamento de conexões já existentes;
- Planejamento dos recursos de rede;

O *Controle de admissão de novas conexões* determina se uma nova requisição pode ou não ser admitida de acordo com características do tráfego, caso seja permitida é definido um caminho ao longo da rede pelo qual passará o tráfego dessa conexão.

O *Roteamento de pacotes baseado em restrições* é responsável pela seleção de caminhos considerados de alguma forma ótimos, e que satisfarão a um dado conjunto de restrições e requisitos. Métricas utilizadas no roteamento baseado em restrições incluem o custo em dinheiro, número de nós intermediários, taxa de transmissão, confiabilidade, atraso fim-a-fim e variação de atraso fim-a-fim (XIAO; NI, 1999).

O processo é realizado em duas etapas. Na primeira são excluídos todos os enlaces que não tenham largura de banda suficiente para transportar a nova conexão ou que, de alguma outra forma, não atendam as exigências na nova demanda. Na segunda é realizada a escolha do caminho a ser utilizado sobre a rede residual. A rota escolhida pelo roteamento baseado em restrições não é

necessariamente o “menor caminho” calculado por um algoritmo, mas o caminho de algum sentido ótimo que atende a todos os requisitos exigidos (AWDUCHE et al., 1999).

Para aumentar a eficiência da rede frequentemente é necessário que os roteadores refaçam o processo de roteamento de fluxos de dados devido a mudanças que podem ocorrer nas condições da rede. Esse processo caracteriza o terceiro problema básico da ET, o *re-roteamento de conexões já estabelecidas*. Por exemplo, um fluxo de tráfego pode ser re-roteado para um caminho secundário, em caso de falhas no caminho principal, ou no caso em que um tráfego de maior prioridade esteja utilizando todo o recurso do caminho principal. Quando a situação voltar ao normal, o fluxo de tráfego pode ser novamente re-roteado para o caminho principal original. Sem a possibilidade de re-otimização, a rede poderia se tornar progressivamente distante do ponto ótimo, cada vez que uma falha ocorresse. Porém essa técnica deve ser usada com cautela, pois exige a troca de mensagens entre diferentes elementos da rede, o que pode levar a situações de sobrecarga caso ocorram com muita frequência.

O processo de Engenharia de Tráfego possui alguns elementos cruciais que são: medição, modelagem, análise e otimização.

A *medição* é crucial para a ET pois somente através dela é possível concluir a situação real de uma rede. A medição também é fundamental para a função de otimização uma vez que provê dados de realimentação os quais são usados pelos subsistemas de controle da ET para otimizar a performance da rede. A medição é também necessária para determinar a QoS da rede e também para avaliar a efetividade das políticas de ET (MAIA. Nilton, 2006).

A *modelagem* envolve a construção de um modelo que descreve características de tráfego relevantes e atributos da rede.

Um modelo é uma representação abstrata de uma rede que de acordo com (MAIA. Nilton, 2006) captura características relevantes, atributos, e outras características como restrições e atributos de nós e enlaces, além de facilitar análise e/ou simulação.

A *análise* é o terceiro componente chave da Engenharia de tráfego, através da análise é possível caracterizar o estado da rede, bem como a carga de tráfego associada a ela. Conforme afirmado por Awduche (2002), a análise pode envolver investigação sobre a concentração e distribuição de tráfego através da rede, identificando as características da carga de tráfego oferecida, potenciais gargalos, enlace sub-utilizados, pontos de falhas, etc.

Existem dois tipos de análise: A reativa e a proativa. A reativa identifica problemas existentes, determina a causa através de diagnóstico, e avalia alternativas para resolver o problema, se necessário. A análise proativa identifica problemas potenciais que não existem atualmente, mas que poderão se manifestar no futuro.

## **2.2. MPLS (*Multiprotocol Label Switching*)**

Até meados da década de 90, o roteamento do tráfego em IGPs (*Interior Gateway Protocol*), baseava-se no caminho mais curto determinado pelo algoritmo de IGP, como RIP (OLIVEIRA. Marcio, 2005). Quando a carga de fluxo de dados começava a ficar maior do que a capacidade do *link*, a solução consistia em aumentar a capacidade do *link*.

Com a grande evolução das redes na década de 90 e a necessidade maior desempenho nas redes com custos aceitáveis, ocorreu uma pressão por maior eficiência na utilização dos recursos das redes, o roteamento de tráfego nas estruturas passou a necessitar uma gerência sistemática gerando requisitos mais rígidos no controle da rede (OLIVEIRA apud. MAGAHÃES, 2001).

Enquanto a IETF (*Internet Engineering Task Force*) concentrava seus esforços no desenvolvimento de serviços diferenciados (*DiffServ*) e serviços integrados (*IntServ*), várias instituições estavam trabalhando na criação de melhores algoritmos de encaminhamento. O trabalho realizado pela IETF consistia na inclusão de um rótulo (*Label*) no início de cada pacote e ao invés de realizar o encaminhamento através do endereço de destino, utilizar o rótulo inserido como base para o roteamento. Dessa maneira o rótulo será um índice para uma tabela interna, assim a localização da linha de saída correta torna-se apenas uma questão

de pesquisa em tabela (TANENBAUM. Andrew S, 2003), com isso artigos começaram a trazer um novo paradigma, a comutação IP (*Internet Protocol*).

Algumas empresas como a Toshiba, passaram para ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como um meio de comutação IP em seu *Cell-Switched Router* (CSR). A Cisco Systems desenvolveu a comutação de *Tag*. As tentativas de se padronizar essas tecnologias através do IETF resultaram na combinação de várias tecnologias, gerando o *Multiprotocol Label Switching* (MPLS)(OLIVEIRA apud. OSBOURNE, 2003).

O principal objetivo do MPLS é padronizar uma tecnologia básica que integra o paradigma de encaminhamento de nível dois com o roteamento do nível três do modelo ISO/OSI. O MPLS oferece comutação orientada a conexão, baseada em rótulo, para protocolos IP de roteamento e controle, e pode ser comparado com um nível de enlace a partir da camada dois. Portanto, pode ser usado com qualquer tipo de mídia, como ATM, TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) ou *frame relay* (OLIVEIRA apud. OSBOURNE, 2003).

### **2.2.1. Funcionamento de uma rede MPLS**

Quando um pacote IP entra em um domínio MPLS, ao seu cabeçalho é atribuído um rótulo MPLS. Então ele deixará de ser encaminhado pelas informações de nível três e passará a ser encaminhado de acordo com o rótulo. Para que o pacote seja encaminhado através da rede é necessário que os nodos do caminho sejam compatíveis com o protocolo MPLS. Nodos que são compatíveis com MPLS são conhecidos como *Label Switching Router* (LSR). Os LSRs são capazes de encaminhar um pacote rotulado por uma rede MPLS, eles sabem como estes pacotes rotulados devem atravessar a rede. O caminho pelo qual os pacotes rotulados passam pelos LSRs é chamado *Label Switch Path* (LSP) (OLIVEIRA. Marcio, 2005) ele é basicamente uma rota pré-definida, na qual um conjunto de pacotes de uma mesma FEC (*Forwarding Equivalence Classes*) é encaminhado através de uma rede MPLS. Cada LSP é unidirecional. Portanto, o tráfego de retorno deve ser encaminhado em um LSP separado. Na RFC 3031 são encontrados maiores detalhes sobre a arquitetura do protocolo MPLS.

O rótulo atribuído ao pacote na entrada da rede MPLS deve ser retirado quando o pacote sair da rede, e em seguida, ser encaminhado ao devido protocolo de nível três. Este processo de remover o rótulo do cabeçalho do pacote e então enviá-lo ao protocolo de nível três é feito pelos nodos na borda da rede MPLS, conhecidos como *Label Edge Router* (LER). Numa rede MPLS, o encaminhamento de nível três é utilizado nas bordas da rede, e o encaminhamento MPLS, no nível dois, é usado no núcleo da rede (OLIVEIRA. Marcio, 2005). Dessa forma o MPLS combina a velocidade da camada de enlace com o gerenciamento e escalabilidade da camada de rede. A Figura 2 ilustra LERs e LSPs em um domínio MPLS.

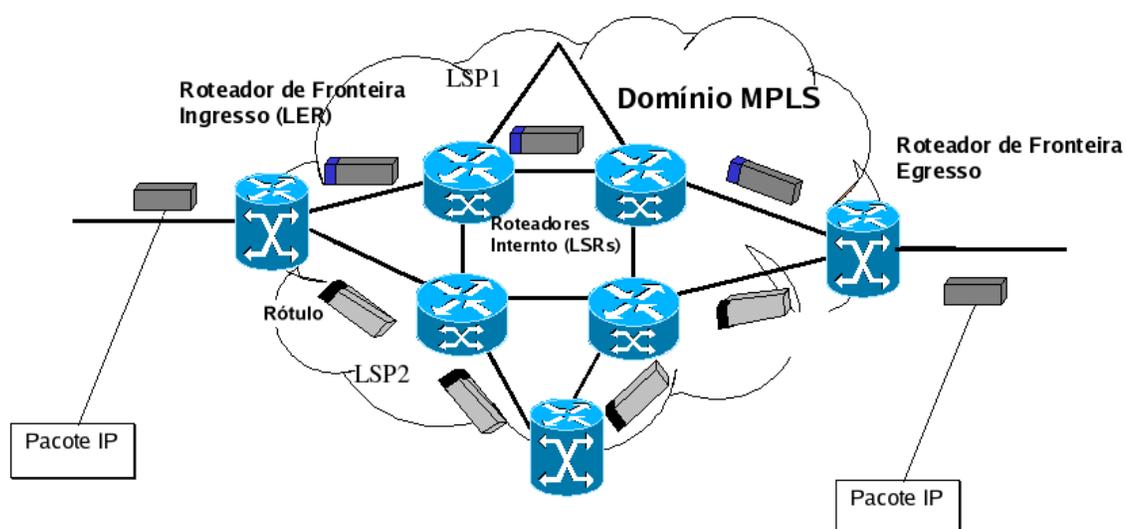


Figura 2: LERs e LPS em um domínio MPLS – Fonte: Roberto Dias. 2004

Os LERs inserem rótulos aos pacotes que entram no domínio, de acordo com as denominadas classes de equivalência de encaminhamento, ou *forwarding equivalence classes* (FECs). Sendo assim, os pacotes ao serem encaminhados através de uma rede MPLS baseados em sua associação com as FECs. À medida que os pacotes atravessam os LSRs, os rótulos vão sendo substituídos, até que os mesmos cheguem ao roteador de borda de egresso quando os rótulos são retirados e entregues ao protocolo de camada superior (DIAS. Roberto, 2004).

Uma FEC é definida como sendo uma classe correspondente a um conjunto de pacotes encaminhados de uma mesma forma através da rede. As FECs podem

incluir todos os pacotes que têm o mesmo destino na rede, podem também incluir todos os pacotes oriundos de uma mesma aplicação (porta de protocolo), ou com o mesmo conteúdo de campo TOS (*Type of Service*) do cabeçalho IP (DIAS. Roberto, 2004).

A definição das FECs permite a criação das LIBs, mantidas em cada LSR. Com isso, na tecnologia MPLS, a decisão de roteamento dos pacotes, empregando roteamento convencional (*hop-by-hop*) só ocorre uma vez para cada FEC. Toda vez que um pacote for associado a uma FEC já existente somente uma inspeção do rótulo, que tem tamanho curto e fixo é efetuada (DIAS. Roberto, 2004).

É importante ressaltar que, no que diz respeito à Engenharia de tráfego, Dias (2004) afirma que:

*“O MPLS possibilita a implementação de ferramentas de engenharia de tráfego (ET), cujo objetivo é otimizar a utilização dos recursos de uma rede pela devida determinação das FECs e os caminhos pelos quais os pacotes associados a elas serão encaminhados.”*

### **2.2.2. Rótulo MPLS**

O rótulo permite o desacoplamento entre roteadores e o encaminhamento dos pacotes podendo operar em dois modos, modo de célula e modo de *frame*. O *modo célula* é utilizado por células ATM, e por este trabalho ter foco em redes IP, não serão explanados maiores detalhes sobre o modo célula, dando foco ao modo *frame*.

O *modo frame* é caracterizado pela inserção de um rótulo ao pacote na frente do cabeçalho nível três, conforme ilustrado na Figura 3

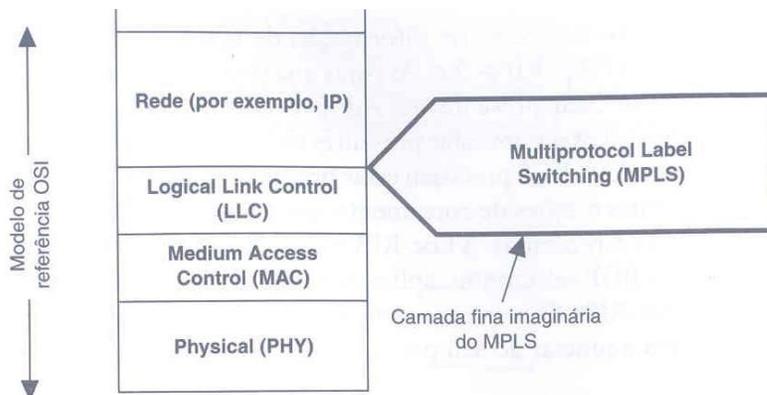


Figura 3: Localização do MPLS no modelo OSI – Fonte: Marcio Oliveira. 2005

O rótulo possui um tamanho de 20 bits totalizando 1.000.000 de valores possíveis para ele. Vários rótulos podem estar presentes em um mesmo pacote através do empilhamento de rótulos. Apenas o nodo mais externo é considerado em uma rede, de forma que o rótulo que um LSR utiliza para encaminhar o pacote no plano de dados é o rótulo que ele atribuiu e distribuiu no plano de controle (OLIVEIRA apud. OSBOURNE, 2003). Portanto, os rótulos intermediários não tem significado para os intermediários.

Em um pacote MPLS, além do campo Rótulo, também estão presentes os campos: EXP (*experimental*), S e TTL (*Time to Live*) conforme ilustrado na Figura 4



RÓTULO = 20 bits  
 EXP = Experimental, 3 bits  
 P = Final da pilha, 1 bit  
 TTL = Time To Live, 8 bits

Figura 4: Pacote MPLS – Fonte: Eric Osbourne, 2003

O campo EXP (*experimental*) encontra-se bits reservados para uso experimental, porém geralmente são como indicadores de QoS (*Quality of Service*);

O campo S, conhecido como *bit* de fim de pilha foi desenvolvido devido ao fato de MPLS adicionar um enchimento a um pacote, um LSR precisa saber se o que segue este enchimento é o cabeçalho de nível três ou mais enchimento. O *bit* S significa

que o que segue este enchimento é o cabeçalho de nível três. Para encaminhamento MPLS típicos de enchimento simples, o *bit S* é ativado;

E por último o campo TTL (*Time to Live*). Este campo normalmente é cópia do TTL do cabeçalho do IP, para permitir que funções da camada de rede ocorram mesmo que o LSR não possa usar o cabeçalho de nível três (OLIVEIRA, Marcio, 2005).

### **2.2.3. LIB (*Label Information Base*)**

A LIB é uma tabela que está presente em cada LSR, onde são armazenadas informações usadas no encaminhamento dos pacotes. Os campos básicos contidos em uma LIB são: Valor do rótulo de entrada, que age como um índice na LIB; um campo para a definição da interface de entrada do LSR; um campo indicando o roteador de destino; um campo correspondente à interface de saída por onde o pacote deve ser encaminhado; e por último um campo com o valor do rótulo que deve ser substituído no pacote ao sair do LSR (DIAS, Roberto, 2004).

### **2.2.4. LDP (*Label Distribution Protocol*)**

O *Label Distribution Protocol* (LDP) determina um conjunto de procedimentos com que um *Label Switching Router* (LSR) deve trocar informações sobre os rótulos usados para encaminhar o tráfego entre os LSRs e através deles, incluindo também o significado deles, em relação aos outros LSR do domínio MPLS (OLIVEIRA, Marcio, 2005).

Oliveira (2005) afirma ainda que o LDP através dessas mensagens e procedimentos é a ferramenta a qual os LSRs estabelecem LSPs através de uma rede transformando informações de roteamento do nível de rede para os caminhos comutados do nível de enlace de dados. O LDP realiza uma associação a cada LDP que cria especificando o LSP de cada pacote. O protocolo LDP utiliza o protocolo TCP para o transporte e troca de mensagens para o mapeamento através das PDUs (*Protocol Data Units*) do LDP, onde os LSRs envolvidos são chamados de *peers*.

As mensagens LDP são divididas em quatro categorias (OLIVEIRA apud. CHOWDHURY, 2002):

- Mensagem de descoberta: Os LSRs enviam mensagens de *Hello* periódicas através de UDP para anunciar e manter a presença do LSR na rede. Os LSRs detectam a presença de vizinhos conectados diretamente enviando mensagens LDP de *Hello* de *multicast*, gerando uma conexão da camada dois entre eles. Os vizinhos conectados indiretamente, geralmente estão a vários nodos de distancia, por isso não possuem uma conexão de camada dois entre eles. Portanto, as mensagens *Hello* são enviadas como *unicasts*, por UDP. Algumas vezes é necessária uma configuração manual, pois isso exige que um LSR saiba antes da descoberta, qual nodo ele deseja ter como vizinho conectado indiretamente.
- Mensagem de sessão: Quando o LSR recebe uma mensagem de *Hello* ele inicializa o LDP através da divulgação da sessão por meio de TCP. Depois que a sessão TCP for estabelecida, os LSRs negociam os parâmetros da sessão por meio das mensagens de inicialização do LDP.
- Mensagem de divulgação: Mensagem utilizada pelo LSR para criar, alterar e excluir o mapeamento de rótulo para as FECs. Após o estabelecimento da relação LDP com um vizinho, os LSRs começam a divulgar rótulos um para o outro. Essas mensagens contêm informações do rótulo que podem ser: Endereço do rótulo, retirada do rótulo, solicitação de rótulo, mapeamento de rótulo, retira de rótulo, liberação de rótulo e pedido de cancelamento de rótulo.
- Mensagem de notificação: Existem dois tipos de mensagem de notificação, as de informações consultivas que servem para notificação de consulta, e as notificações de erro que servem para sinalizar erros fatais.

### **2.2.5. FEC (*Forwarding Equivalence Classes*)**

Quando um pacote IP chega a um LER de ingresso na borda da rede é preciso inserir um rótulo para o pacote percorrer a rede MPLS. Esse processo é feito através da FEC (*Forwarding Equivalence Classes*) que é o particionamento dos pacotes em um conjunto de classes de equivalência de encaminhamento encontrados na LIB (OLIVEIRA. Marcio, 2005).

Existem vários critérios para classificar as classes de equivalência de encaminhamento, esses podem ser baseados na interface na qual o pacote chegou, nos valores de precedência IP, no cabeçalho IP do pacote, no número de porta de destino do pacote ou outras informações (OLIVEIRA. Marcio, 2005).

Todos os pacotes de uma mesma FEC, independente da classificação, recebem o mesmo tratamento, que pode variar desde o encaminhamento do pacote dentro do núcleo, até o descarte do pacote (OSBOURNE, 2003).

## **2.3. MPLS e Engenharia de Tráfego**

O MPLS é estrategicamente importante para a ET, pois fornece com grande potencialidade a maioria das funcionalidades disponíveis pela Engenharia de Tráfego, de forma integrada e com custo menor do que alternativas concorrentes (AWDUCHE et al., 1999).

A atratividade do MPLS para a ET pode ser atribuída aos seguintes fatores: LSPs explícitos que não são restritos ao paradigma do encaminhamento baseado no destino, e que podem facilmente ser criados através de ações administrativas ou pela ação automatizada de protocolos adjacentes; torna a manutenção de LSPs eficientes; troncos de tráfego podem ser instanciados e mapeados em LSPs; um conjunto de atributos pode ser associado a troncos de tráfego modulados de acordo com suas características; um conjunto de atributos pode ser associado a recursos da rede que restringem a colocação de LSPs e troncos de tráfego a eles; MPLS permite tanto tráfego de agregação quanto desagregação, enquanto o encaminhamento convencional baseado apenas em IP só permite agregação; é relativamente fácil integrar CBR (*Constraint-based Routing*) com MPLS;

As capacidades do MPLS sobre a ET podem ser atingidas pois com ele é possível:

- Definir um conjunto de atributos que podem ser associados a troncos de tráfego especificando suas características comportamentais;
- Definir um conjunto de atributos associados a recursos que condicionem a colocação de troncos de tráfego através deles. Esses atributos podem ser considerados como atributos de restrição da topologia;
- Um enquadramento CBR é utilizado para selecionar vias para os troncos de tráfego sujeitos a limitações impostas pelos pontos citados acima. Embora o CBR não faça parte do MPLS, é extremamente importante que se faça uma integração entre os dois para atingir os objetivos de Engenharia de Tráfego.

### **2.3.1. Atributos e características de Troncos de Tráfego**

Um tronco de tráfego é uma agregação dos fluxos de tráfego de uma mesma classe que são colocadas dentro de um LSP (LI et. al, 1998). Em uma única classe de modelo de serviços, um tronco de tráfego poderia sintetizar todo o tráfego entre um LSR ingresso e um LSR de egresso ou também subconjuntos. Os troncos de tráfego são objetos roteáveis unidirecionais, ou seja, em um contexto operacional, eles podem ser deslocados de um caminho para outro (LI et. al, 1998).

Os atributos de troncos de tráfego podem ser explicitamente atribuídos através de ações administrativas ou implicitamente através de protocolos subjacentes quando os pacotes são classificados e mapeados em classes de equivalência na entrada de um domínio MPLS.

Os atributos básicos de troncos de tráfego mais significantes para a Engenharia de tráfego são:

- Atributos de parâmetro de tráfego;
- Seleção de caminhos genéricos e manutenção de atributos;
- Atributo de prioridade;
- Atributo de antecipação;
- Atributo de resiliência;
- Atributo de policiamento.

Os atributos de troncos de tráfego serão explicados nas seções a seguir.

### **2.3.2. Atributos de parâmetro de Tráfego**

Atributos de parâmetro de tráfego podem ser usados para capturar características do fluxo de dados, ou seja, a FEC, para transportar através de um tronco de tráfego. Tais características incluem taxas de pico, taxa média, tamanho do *burst* admissível. Na ET, os parâmetros de tráfego são muito importantes porque eles indicam requerimentos de recursos para o tronco de tráfego. Com esse atributo é possível fazer alocação de recursos, e evitar congestionamento através de políticas de congestionamento (AWDUCHE et al., 1999).

### **2.3.3. Seleção de caminhos genéricos e manutenção de atributos**

A seleção de caminhos de tráfego e manutenção de atributos definem as regras para a escolha da rota tomada por um tronco de tráfego, bem como as regras para manutenção de caminhos que já estão estabelecidos.

Se os recursos requeridos ou as restrições associadas ao tráfego não estiverem definidas, um protocolo orientado a topologia pode ser usado para selecionar o caminho. Todavia, se os recursos requeridos ou as restrições associadas ao tráfego estiverem definidas, um esquema CBR deve ser usado para selecionar o caminho (AWDUCHE et al., 1999).

### **2.3.4. Atributo de prioridade**

Atributo de prioridade define a prioridade relativa de um tronco de tráfego. Se um esquema CBR é usado com MPLS, as prioridades tomam muita importância porque elas podem ser usadas para determinar a ordem na qual o caminho selecionado para a conexão será estabelecido sobre quaisquer cenários.

A definição de prioridades é muito importante porque podem ser utilizadas para impor uma ordem parcial sobre um conjunto de troncos de tráfego de acordo com políticas de antecipação (AWDUCHE et al., 1998).

### **2.3.5. Atributo de antecipação**

O atributo de antecipação determina se um tronco de tráfego pode antecipar outro tronco de tráfego de um determinado caminho. A antecipação não é considerada um atributo obrigatório embora seja útil. Em grandes redes, estratégias de antecipação são usadas para reduzir o tempo de recuperação de troncos de tráfego de alta prioridade em condições de falha com um menor custo (AWDUCHE et al., 1999).

### **2.3.6. Atributo de resiliência**

O atributo de resiliência determina o comportamento de um tronco de tráfego sobre condições de falha. Isto é, quando acontece uma falha ao longo do caminho no qual o tronco de tráfego atravessa. Os principais fatores que devem ser tratados sob condições de falha são: Detecção da falha; Notificação de falha e; Recuperação e restauração do serviço. Uma implementação MPLS deve incorporar mecanismos para lidar com esses fatores (AWDUCHE et al., 1999).

### **2.3.7. Atributo de policiamento**

Atributo de policiamento determina as ações que devem ser tomadas por protocolos adjacentes quando condições dos troncos de tráfego não estão em conformidade. Isto é, quando um tronco de tráfego excede características especificadas nos parâmetros de tráfego.

O policiamento é necessário em muitos cenários operacionais, geralmente realizado no ingresso da rede para verificar os acordos de níveis de serviço, e minimizar o policiamento no núcleo, exceto quando as restrições de capacidade não permitirem (AWDUCHE et al., 1999).

### **2.3.8. CBR (*Constraint-Based Routing*)**

CBR permite um roteamento orientado a recursos, e reserva de recursos de forma consciente. O CBR (*Constraint-based Routing*) utiliza como parâmetros de entrada (AWDUCHE apud. Lee et al., 1995):

- Os atributos associados com troncos de tráfego;
- Os atributos associados com recursos;
- E outras informações de estado da topologia.

Baseado nessas informações, um CBR calcula automaticamente as rotas explícitas de cada tronco de tráfego originado de cada nó. Neste caso, uma rota explícita para cada tronco de tráfego é uma especificação do rótulo ligado ao caminho que satisfaz as exigências de demanda explícita pelos atributos do tronco de tráfego, sujeito a limitações impostas pela disponibilidade dos recursos, políticas administrativas, e outras informações do estado da topologia. A utilização de CBR pode perfeitamente reduzir a configuração manual e o nível de intervenção necessária para utilizar as políticas de Engenharia de Tráfego. O CBR tem a capacidade de estabelecer automaticamente uma solução à alocação de um caminho para um tronco de tráfego. Para conseguir estabelecer os caminhos, um procedimento bem simples é seguido. O primeiro passo é excluir os caminhos os quais os atributos dos recursos não atendem os requisitos do tronco de tráfego. O segundo passo executar um algoritmo do caminho mais curto (AWDUCHE apud. Lee et al., 1995).

## **2.4. Network Simulator**

### **2.4.1. Características do Network Simulator**

Conforme escrito pelo ISI (2002) o *Network Simulator* (NS) é um simulador de eventos discretos utilizado com grande frequência em pesquisas em redes de computadores. Originado em 1989 com base no REAL Network Simulator, projeto mantido pela *Cornell University*, EUA, o NS com apoio de várias organizações tem evoluído desde então, seu desenvolvimento foi mantido pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, EUA) através do projeto SAMAN e pela NSF (*National Science Foundation*, EUA) através do projeto CONSER, em colaboração com outros pesquisadores como o centro ICIR. O simulador já recebeu apoio do *Lawrence Berkley National Laboratory* (LBNL), do Xerox PARC (*Palo Alto Research Center*), da Universidade da Califórnia (UC) em Berkeley, *Sun Microsystems* e também agrega diversos módulos contribuídos por pesquisadores independentes,

como é o caso do módulo *MPLS Network Simulator* (MNS) desenvolvido por Gaeil Ahn e Christian Glomb.

O *Network Simulator* é um software de código livre e fornecido gratuitamente, sendo mantido pelo projeto *Virtual Internetwork Testbed* (VINT) do instituto *Information Science Institute* (ISI) da Universidade do Sul da Califórnia e constituído por outros centros pesquisadores de instituições como UC Berkeley, LBNL e Xerox PARC (ISI, 2002). Possui um fórum de discussão mantido pelos desenvolvedores, onde os pesquisadores de diversas partes do mundo podem trocar idéias e contribuir com correções para o código que podem ser analisadas e incorporadas contribuindo assim para o valor da ferramenta.

O simulador NS prevê suporte a TCP e variantes do protocolo (Tahoe, Reno, New Reno, Vegas, etc.), *multicast*, redes sem fio (*wireless*), roteamento e satélite. Implementa filas de roteamento tipo *droptail*, *Diffserv RED*, *fair queueing* (FQ), *stochastic fair queueing* (SFQ), *class-based queueing* (CBQ), dentre outras. Tem facilidades de *tracing*, que é a coleta e registro de dados de cada evento da simulação para análise posterior. Possui um visualizador gráfico para animações da simulação (*NAM – Network Animator*), *timers* e escalonadores, modelos para controle de erros e algumas ferramentas matemáticas como gerador de números aleatórios e integrais para cálculos estatísticos. Inclui também uma ferramenta de plotagem, o *xgraph*, e vários tipos de geradores de tráfego (ISI, 2002).

O NS foi desenvolvido na linguagem orientada a objetos C++, de forma modular. O uso desta linguagem nos módulos confere velocidade e mais praticidade na implementação de protocolos e modificação de classes (ISI, 2002). A interface com o usuário, configuração, estabelecimento de parâmetros e manipulação de objetos e classes é feita em modo texto, através da linguagem interpretada OTcl, que também é orientada a objetos.

O simulador foi desenvolvido para rodar preferencialmente em plataformas Unix, mas pode também ser usado no sistema operacional Windows da Microsoft, porém sua instalação não segue os padrões de outros softwares desenvolvidos para esta plataforma.

Por ser compilado durante a instalação, o NS pode ser instalado em qualquer arquitetura de computador como Intel/AMD ou RISC, desde que se tenha instalado um compilador C++, necessário para a compilação dos fontes fornecidos na instalação.

Os módulos citados abaixo compõem a instalação básica do NS (OLIVEIRA, Marcio, 2005):

- Tcl/Tk: Interpretador de linguagem Tcl, que é a interface do simulador com o usuário.
- OTcl: suplemento de orientação a objetos para o Tcl.
- Tclcl: implementação de classes para Tcl.
- ns-2: classes do simulador propriamente dito.
- nam-1: visualizador e animador gráfico de topologias de rede e simulação.
- xgraph: ferramenta de plotagem de gráficos.

O NS pode ser instalado baixando o pacote *ns-allinone* que contem todos os módulos pacotes citados acima, ou baixando cada pacote individualmente.

#### **2.4.2. Estrutura do Simulador**

Conforme descrito em ISI (2002) o NS é orientado a objeto escrito em C++, juntamente com o OTcl, interpretador de script Tcl, também orientado a objeto e mais uma biblioteca que contem objetos de *scheduler* de evento, módulos de ajuda de configuração de rede e objetos de componentes de rede.

Com o objetivo de dar tanto velocidade ao simulador quanto flexibilidade e facilidade na manipulação de parâmetros, a interface com o usuário se dá sobre a divisão de duas linguagens: OTcl e C++.

Com o C++ é possível conseguir excelentes níveis de velocidade de execução, portanto é usado, por exemplo, na implementação de protocolos, *scheduler* de eventos e objetos de componentes de rede básicos nos caminhos dos dados entre outros.

A linguagem script OTcl é ideal para a configuração dos cenários simulados, pois sua simplicidade traz maior rapidez e facilidade de se trabalhar com mudanças de parâmetros.

De acordo com ISI (2002) a união entre as duas linguagens é feita de seguinte forma: Um usuário qualquer atua no perímetro “tcl”, escrevendo scripts em OTcl e executando simulações. Os escalonadores de eventos e os componentes de rede são implementados em C++ e disponibilizados ao interpretador OTcl através de uma replicação feita pela camada tclcl, que recria os objetos C++ em objetos OTcl, e que podem finalmente ser manipulados por esta última (processo denominado *linkage*). Todo o conjunto constitui-se no NS, que é um interpretador de OTcl com bibliotecas de simulação para redes de computadores. Essa estrutura é apresentada na Figura 5.

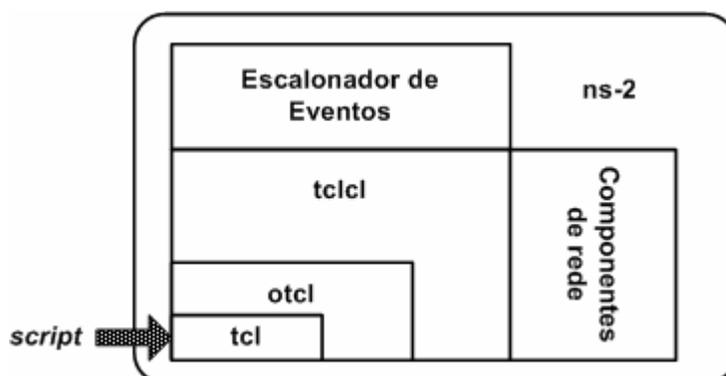


Figura 5: Arquitetura do Network Simulator – Fonte: Marcos Portnoi (2002)

### 2.4.3. Processo de Simulação

De acordo com ISI (2002) para realizar uma simulação no *Network Simulator* é preciso primeiramente, escrever um *script* OTcl onde devem estar contidas as seguintes operações:

- Criação do objeto simulador: A este objeto serão atribuídas todas as características do cenário simulado;
- Abertura dos arquivos *tracing*: Nos arquivos *tracing* são registradas todas as informações dos eventos ocorridos no cenário durante a simulação;
- Criação de topologia de rede: esta etapa é subdividida em:

- Criação dos nodos: São definidos todos os nodos da rede;
- Conexão dos nós entre si: São especificados os *links* entre os nodos, definindo a topologia da rede;
- Criação das filas de saída: É definido o tipo de fila de saída em cada nodo;
- Criação dos agentes de 4ª camada: Definição dos agentes de transporte e conexão com os nodos;
- Criação dos geradores de tráfego: São criados os geradores de tráfego, presentes na camada de aplicação e conexão com os agentes da camada de transporte;
- Programação dos escalonadores e *timers*: São definidos intervalos de tempo para o geradores de tráfego, tempo de simulação, especificação de eventos como por exemplo, a queda de um *link*, entre outras;
- Fechamento da simulação e geração de estatísticas: São fechados os arquivos de *tracing* e definidas as estatísticas a serem obtidas.

Após a execução dos *scripts* arquivos de *tracing* serão gerados com registro de cada evento simulado, com isso é possível imprimir estatísticas calculadas no *script*, visualização dos eventos com o NAM, e análises dos resultados através dos arquivos de *tracing* com o apoio de ferramentas apropriadas (ISI, 2002).

O NS não fornece estatísticas de simulação de modo automático, para isso se faz necessário a utilização de alguma ferramenta de análise dos arquivos de *tracing* gerados durante a simulação que são os verdadeiros resultados da simulação (ISI, 2002). Essas ferramentas devem ser capazes de ler os dados gravados nestes arquivos e efetuar os cálculos desejados, duas das ferramentas mais utilizadas são o *awk* e o *NAM*

O *awk* é uma linguagem desenhada para buscar padrões dentro de um arquivo e efetuar ações programadas.

O *NAM* (*Network Animator*) pode ser utilizado para analisar visualmente a simulação e obter algumas estatísticas, porém ele não é apropriado para realizar análises mais profundas.

Se nenhuma ferramenta do tipo for utilizada, o *Network Simulator* apenas executará os *scripts*, gerará os arquivos de *tracing* e encerrará sem nada mostrar ao usuário.

### 3. METODOLOGIA

Existem várias maneiras de se classificar uma pesquisa de acordo com a abordagem científica, entre elas estão: Explicativa, descritiva e exploratória. O método de pesquisa utilizado neste trabalho foi a exploratória.

Alguns trabalhos relacionados a este foram encontrados durante as pesquisas, entre eles estão a teste de doutorado de Roberto Dias realizada em 2004 com o título “Engenharia de Tráfego em Redes IP sobre Tecnologias MPLS: Otimização baseada em Heurísticas” e o trabalho de conclusão de curso de graduação realizado por Márcio Izaquiel de Oliveira com o título “Obtenção de QoS através de MPLS e *DiffServ*” realizado em 2005.

Para a realização deste trabalho, primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico para buscar embasamento teórico e melhor conhecimento da área de pesquisa.

Foram realizadas simulações de cenários de redes de computadores, para observação do comportamento da rede sob condições adversas.

A coleta dos dados para a modelagem dos cenários e da topologia foi realizada juntamente com os técnicos da rede do provedor de internet que colaborou com este trabalho, através da medição do *throughput*, atrasos entre os roteadores e consumo de banda das cidades que utilizam os recursos da rede.

As ferramentas utilizadas foram instaladas no sistema operacional Fedora 10 por ser um sistema estável e ter boa compatibilidade com as ferramentas necessárias para a realização deste trabalho.

Foi instalado o *Network Simulator* na versão 2.34, para a visualização dos eventos da simulação foi utilizado o NAM e para a visualização das informações geradas pela simulação foram usadas as ferramentas Xgraph e Gnuplot.

A Figura 6 mostra os passos realizados para a obtenção dos resultados das simulações.

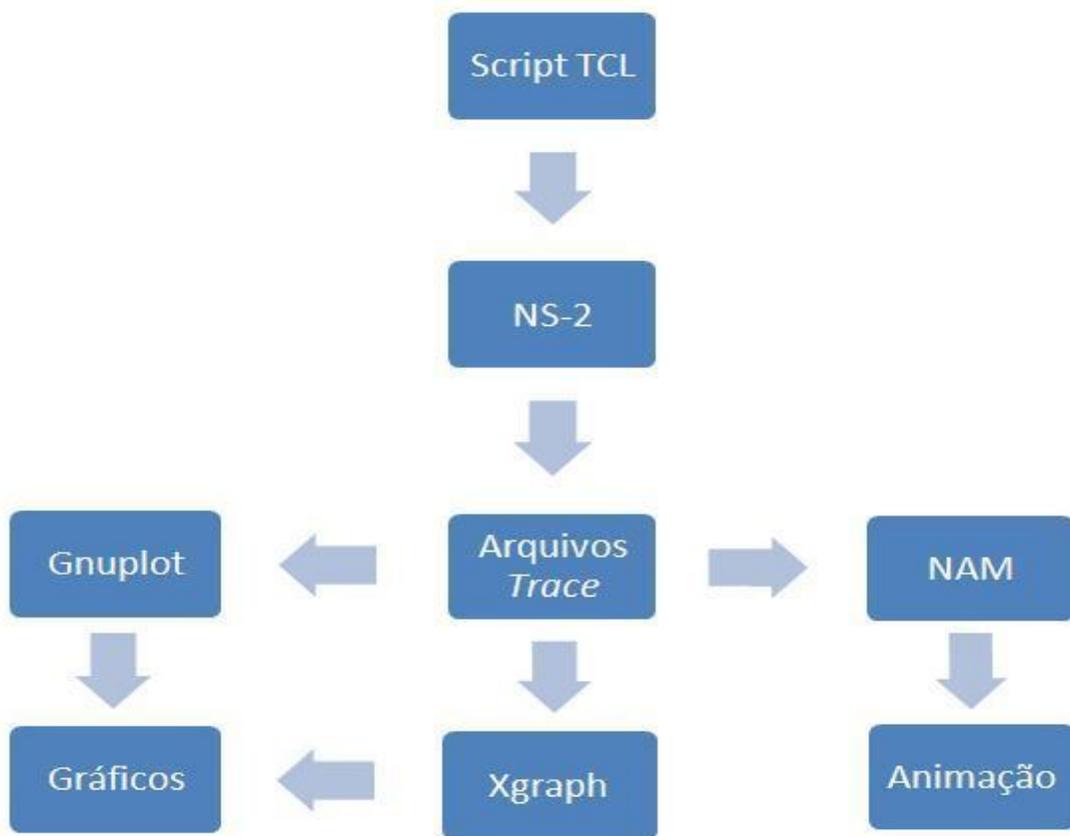


Figura 6: Etapas do processo de simulação

Os cenários simulados foram desenvolvidos na linguagem Tcl, e processados pelo NS-2 (*Network Simulator*), após a execução do NS-2 foram gerados arquivos *trace* que são utilizados pelo NAM (*Network Animator*), para a visualização na animação, e pelos geradores de gráficos Gnuplot e Xgraph.

## 4. SIMULAÇÕES

Neste capítulo é apresentada a descrição da topologia, os cenários utilizados para a simulação e a descrição das simulações realizadas, bem como a análise e comparação dos resultados colhidos após as simulações dos cenários.

### 4.1. Topologia

A topologia utilizada para a realização deste trabalho é baseada na topologia de um provedor de internet que atua em aproximadamente setenta cidades nos estados do Paraná e São Paulo.

Nas simulações foi utilizada a topologia da regional de Londrina a Santo Antônio da Platina, que incluem as cidades de Santo Antônio da Platina, Jacarezinho, Cambará, Andirá, Bandeirantes, Cornélio Procópio, Assaí e Londrina.

Esta topologia foi escolhida por se tratar de uma topologia real, e por ter condições de redundância que proporcionam viabilidade para a utilização de Engenharia de Tráfego.

A topologia é apresentada em 16 nós que representam os roteadores de cada cidade mostrados na Figura 7 na cor preta, os *links* com valores de 100Mb representam conexões ethernet, e os demais são formados por conexões de rede sem fio. Os nós 23 e 24 representam origem e destino do fluxo de áudio analisado e são mostrados na Figura 7 na cor vermelha, os nós 22 e 25 representam origem e destino do fluxo FTP analisado, também mostrado na cor vermelha na Figura 7 e finalmente os nós 0, 17, 18, 19, 20 representam geradores de outros fluxos de tráfego que utilizam a rede e que não são analisados, no qual nó 21 é o destino desses outros tráfegos mostrados na cor azul na Figura 7.



## 4.2. Cenários

As simulações foram realizadas em dois cenários semelhantes, com as mesmas condições e fluxos de tráfego com as mesmas características, a diferença entre os cenários é que o primeiro representa a rede IP com roteamento convencional e leva em consideração o número de saltos como métrica de menor caminho, o segundo cenário representando a rede MPLS usa o roteamento por troca de rótulos MPLS e os fluxos com tratamento diferenciado são direcionados por um caminho alternativo de acordo com a proposta de Engenharia de Tráfego.

Em ambos os cenários é gerado um fluxo de áudio UDP com taxa de transmissão de 80Kbps com pacotes de 150 bytes, simulando uma aplicação VoIP, que é sensível ao atraso, a variação do atraso (*Jitter*) e a perda de pacotes. Também é gerado um fluxo FTP com taxa de transmissão de 2,5Mbps com pacotes TCP de 1400 bytes, este simula uma conexão que representa um serviço com garantia de banda, e este serviço deve ser garantido mesmo em situações adversas da rede.

Para simular o restante do tráfego da rede gerado por outros clientes do provedor, para cada cidade atendida foi gerado um fluxo UDP com pacotes de 1400 bytes com taxa de transmissão proporcional a quantidade real de clientes que são atendidos nas respectivas cidades. Como a topologia atual do provedor atende com tranquilidade a demanda de clientes, o consumo de banda das cidades foi aumentado também proporcionalmente, de acordo com a quantidade de clientes, para que provocasse uma situação de congestionamento, que demandasse a necessidade da utilização dos princípios da Engenharia de Tráfego.

Na cidade de Cambará é gerado um fluxo UDP de 9.6Mbps que junto ao FTP de 2.5Mbps corresponde a 33.1% do tráfego total da rede, em Andirá é gerado um fluxo UDP de 6Mbps correspondendo 16,4% do tráfego, Bandeirantes gera 2,2Mbps de tráfego correspondendo a 6% do tráfego total, a cidade de Cornélio Procópio com a maior quantidade de clientes com 42,4% do tráfego gera uma carga de 15.5Mbps na rede e por último a cidade de Assaí com menor representação gera 0.7Mbps de tráfego em seus 1.9% da demanda total da rede. Somando todas as cidades acima citadas, é gerada uma carga de tráfego total de 36,5Mbps.

As cidades de Jacarezinho e Santo Antônio da Platina não geram tráfego no cenário simulado, pois todos os seus fluxos são direcionados para Santo Antônio da Platina, o restante dos fluxos são direcionados para Londrina, e esta por sua vez não atende cliente locais, sendo assim não gera tráfego na rede.

Para os interessados neste trabalho, que queiram contribuir com melhorias ou dar continuidade aos estudos, os *scripts* TCL utilizados para realizar as simulações estão disponíveis para *download* no site:

<http://www.4shared.com/file/162295530/c88e0e9d/scriptTCLkairoPavan.html>

### 4.3. Simulação da rede IP

No cenário utilizado para simular a rede IP, não foi empregada nenhuma forma de tratamento diferenciado aos fluxos, e o roteamento adotado foi o modelo convencional por número de saltos, assim como ocorre em redes do tipo *Best-effort* (melhor esforço).

Na Tabela 2 é possível observar o tempo em que os eventos escalonados iniciam.

*Tabela 2: Eventos da simulação da rede IP*

Momento da simulação	Evento
0.0	Início da simulação
0.1	Início do tráfego da rede
0.35	Início da transmissão do fluxo FTP
0.4	Início da transmissão do fluxo de áudio
40	Fim da simulação

Conforme pode ser notado na Figura 8, todos os fluxos utilizam o mesmo caminho para chegar aos seus nós de destino, desta forma, como a demanda está sendo maior que quantidade de fluxos que podem ser atendidos pelos *links* do caminho selecionado, ocorre um congestionamento e duas filas de pacotes nos roteadores 13 e 14 esperando para ser encaminhados. Também é possível notar que a capacidade máxima da fila foi excedida, momento no qual ocorre o descarte de pacotes, prejudicando a transmissão efetiva dos fluxos.

Na Figura 8, os pacotes na cor vermelha representam o fluxo de áudio, os pacotes na cor verde, o fluxo FTP e o restante na cor azul, representam o tráfego gerado pelas outras atendidas pelo provedor.

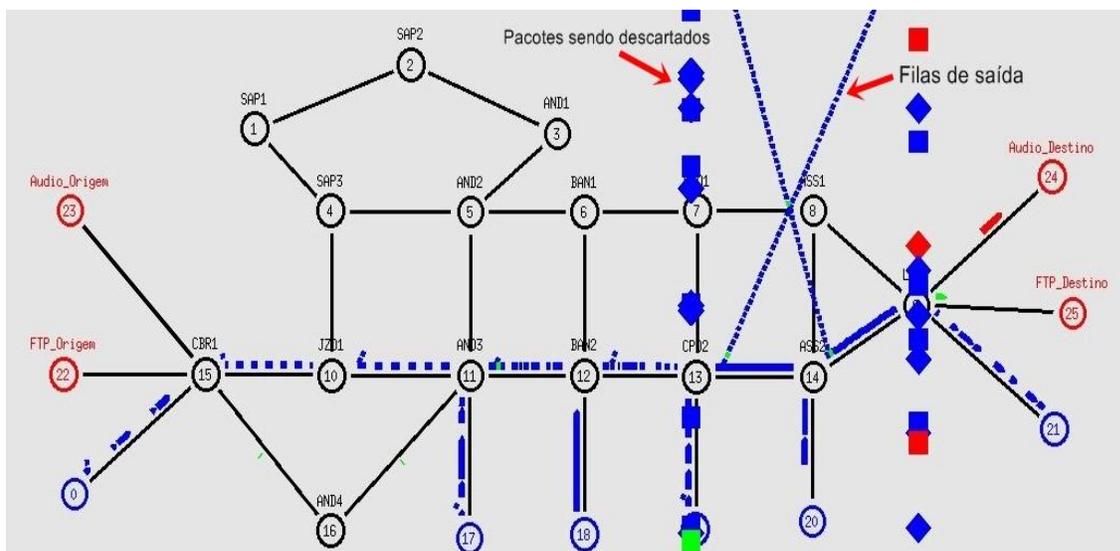


Figura 8: Simulação da rede IP

Pode-se notar que na formação da fila estão presentes em grande maioria os pacotes azuis, pois eles constituem a maior parte do tráfego gerado na rede, por esse motivo eles também compõem a maior parte dos pacotes descartados, no momento da simulação mostrado na imagem apenas um pacote FTP na cor verde e três pacotes de áudio, na cor vermelha, estão sendo descartados, enquanto há um descarte maior de pacotes azuis.

Nas filas de saída dos roteadores podem ser vistos alguns pacotes da cor verde e vermelha, quando os pacotes entram na fila, o atraso em suas entregas aumenta, juntamente com a variação no atraso que ocorre principalmente na formação das filas.

#### 4.3.1. Resultados da simulação da rede IP

Para a análise da qualidade do serviço prestado pela rede, em relação ao fluxo de áudio foram analisados: O atraso, o *Jitter*, a perda de pacotes e a vazão, e quanto ao fluxo FTP que possui garantia de banda, foi analisado o atraso.

O Gráfico 1 mostra o atraso dos pacotes do fluxo de áudio.

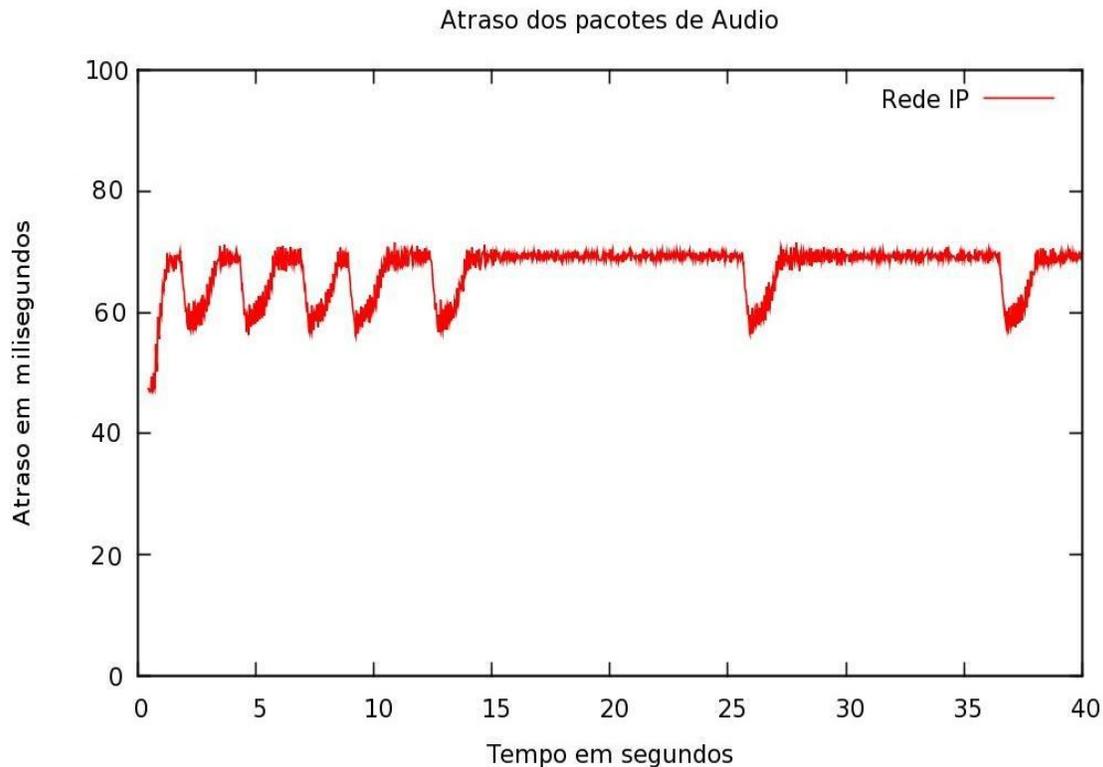


Gráfico 1: Atraso dos pacotes de áudio na rede IP

No Gráfico 1 pode-se observar que o atraso dos pacotes começa em aproximadamente 45 milissegundos no início da simulação, após alguns instantes até o tempo de 15 segundos exististe um aumento mais expressivo entre aproximadamente 55 e 75 milissegundos. Nos intervalos de 15 a 25 e 28 a 36 segundos o atraso se estabiliza em torno de 70 a 75 milissegundos, no entanto nos intervalos de 25 a 28 e 36 a 39 ocorre novamente uma variação onde o atraso diminui para aproximadamente 55 milissegundos.

A variação do atraso (*Jitter*) do fluxo de áudio pode ser observada no Gráfico 2, onde os valores em vários momentos variam de -3 a 5 milissegundos. A maior variação ocorre nos intervalos de tempo entre 0 a 15, 25 a 30 e 36 a 40. Essas maiores variações ocorrem em momentos em que há maior congestionamento e enfileiramento dos pacotes nas filas de saídas dos roteadores. Quando ocorre o descarte dos pacotes do fluxo FTP, se faz necessária a retransmissão do pacote, que diminui a quantidade de pacotes transmitidos pelo nó de origem, reduzindo a fila

de saída dos roteadores. Durante o aumento e diminuição das filas de saída dos roteadores ocorrem as maiores variações do atraso, observados no Gráfico 2 a seguir.

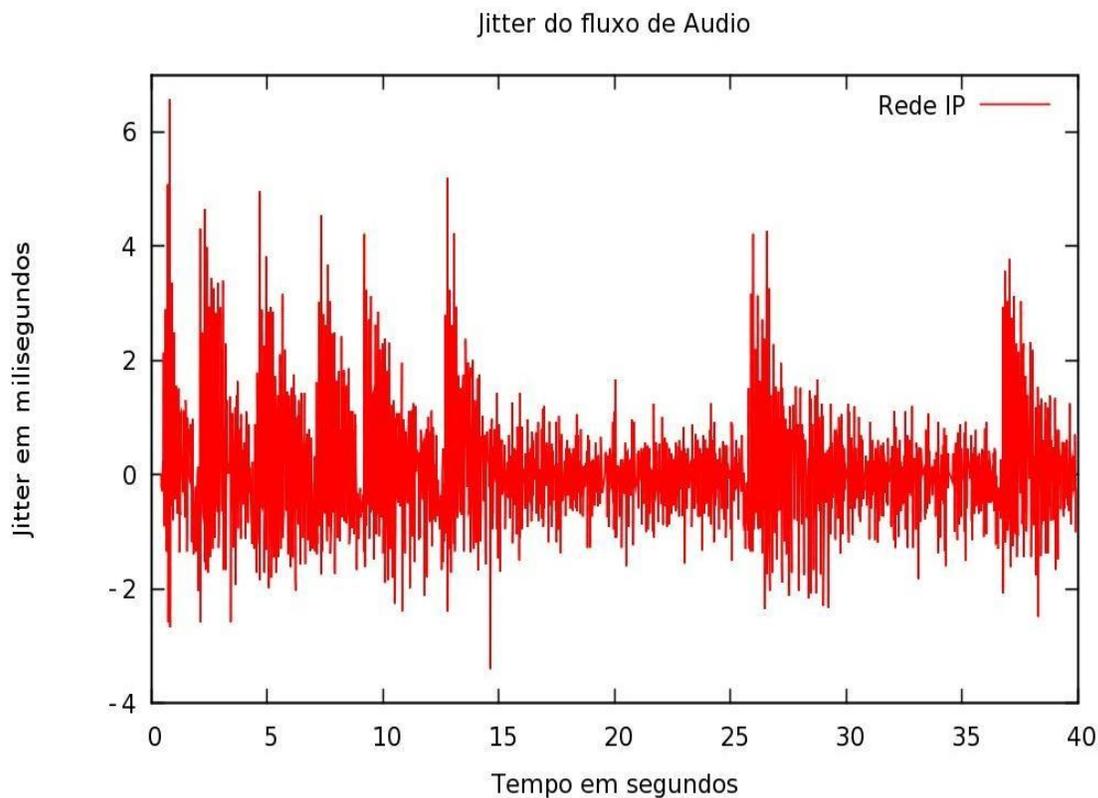


Gráfico 2: Jitter do fluxo de áudio na rede IP

O Gráfico 3 mostra a vazão do fluxo de áudio, que foi definida como 80Kbps na simulação, mas que devido ao congestionamento não consegue atingir o valor pré-definido, oscilando na maior parte do tempo da simulação entre 50 e 70 Kbps.

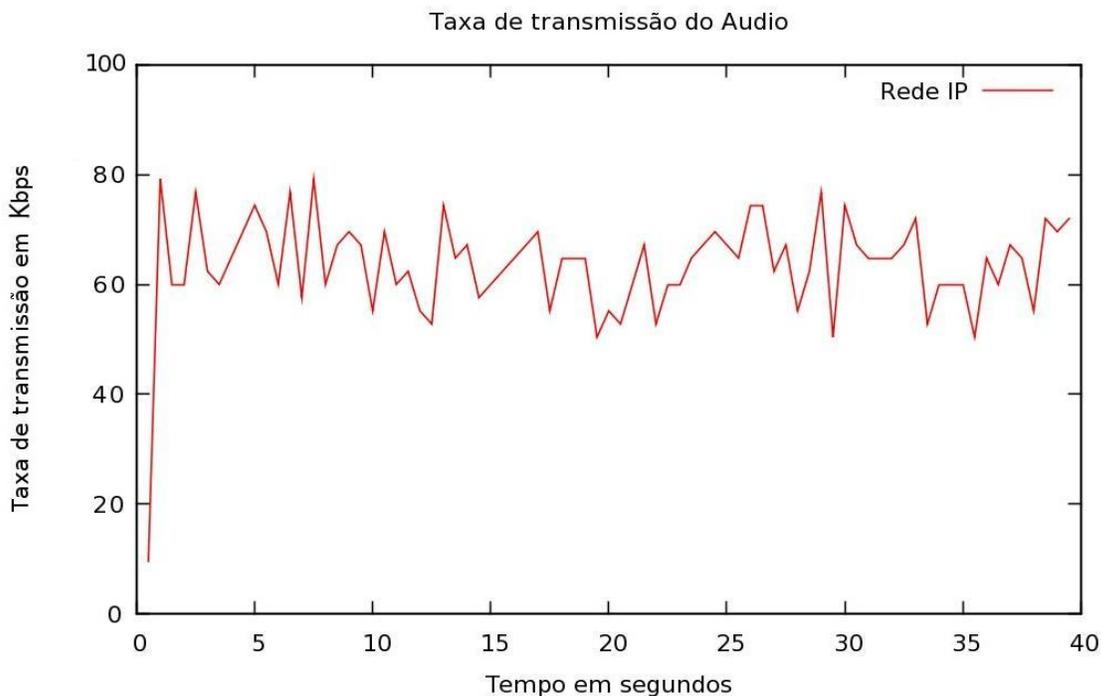


Gráfico 3: Taxa de transmissão de áudio na rede IP

Também foi analisado o descarte de pacotes, que está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Descarte de pacotes na rede IP

Fluxo	Pacotes enviados	Pacotes descartados	Descarte de pacotes (%)
Áudio	2640	519	19,65%
FTP	6821	7	0,1%
Outros fluxos	242224	10232	4,22%

Com base nos dados apresentados na tabela, pode-se observar que o fluxo de áudio teve o maior percentual de descarte de pacotes com 19,65% dos pacotes transmitidos, o fluxo FTP teve uma quantidade pouco significativa de descarte de pacotes que ficou em 0,1%. Os demais fluxos gerados pelas outras cidades tiveram 4,22% de descarte de pacotes.

O Gráfico 4 mostra a vazão do fluxo FTP com garantia de banda de 2.5Mbps, nota-se que em nenhum momento, o serviço acordado foi alcançado, no qual em grande parte do tempo a taxa de transmissão variou entre 0.7Mbps e 2.2Mbps.

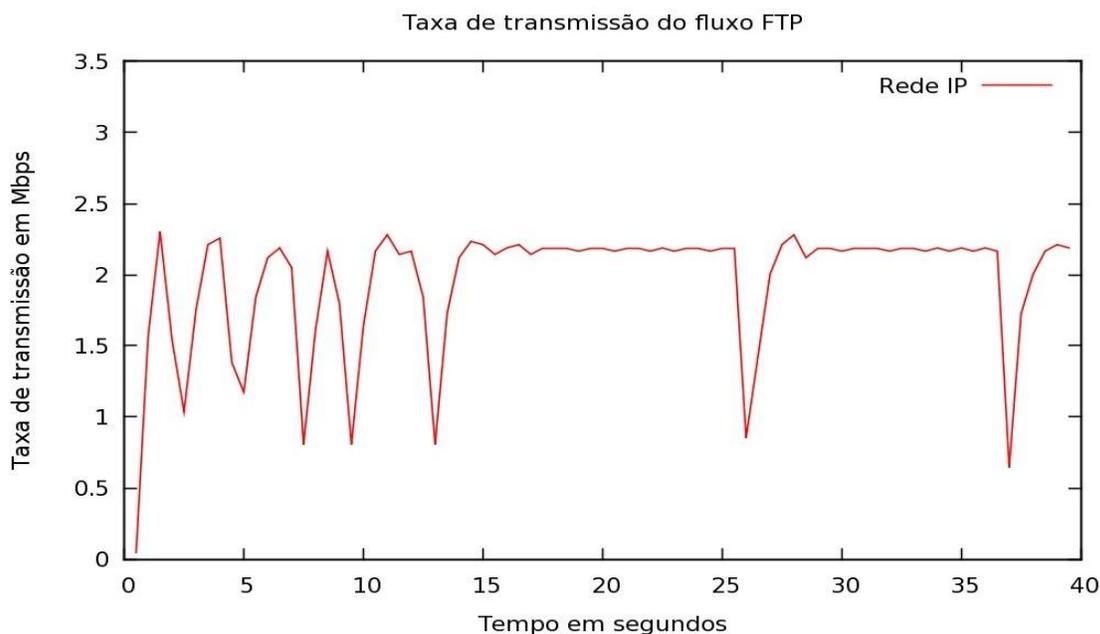


Gráfico 4: Vazão do fluxo FTP na rede IP

#### 4.4. Simulação da rede MPLS

Após a realização das simulações da rede IP com o método de roteamento e encaminhamento convencional por número de saltos foi possível a identificação dos problemas de encaminhamento e dos pontos de congestionamento na rede.

Com base nas políticas de Engenharia de Tráfego, foi realizada uma análise reativa onde foram identificados os problemas, as causas dos problemas e as alternativas para a resolução, levando em consideração a concentração e distribuição dos fluxos, e também a identificação de caminhos e recursos subutilizados.

No cenário simulado com a rede IP ocorreu congestionamento e sobrecarga da rede entre os roteadores 13, 14 e 9 e também em alguns momentos formou-se uma fila de pacotes entre os nós 12 e 13.

Diante deste cenário, com foi definida uma rota alternativa para os tráfegos com tratamento diferenciado, de forma a evitar o caminho congestionado, assim através da definição da rota explícita com o MPLS, foi definido um LSP para o fluxo de áudio atravessar a rede cruzando os roteadores 15, 16, 11, 5, 6, 7, 8 e 9, e ao fluxo FTP um LSP através do roteadores 15, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Na Figura 9 é possível visualizar os pacotes atravessando a rede.

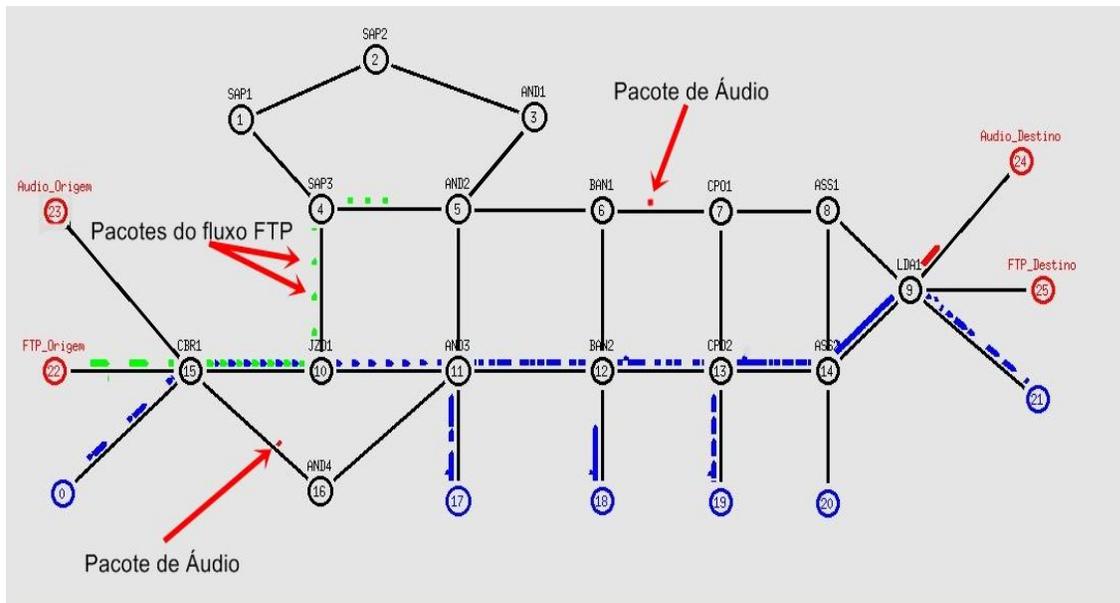


Figura 9: Pacotes cruzando a rede MPLS

Com a utilização da Engenharia de tráfego e MPLS, não houve formação de filas ou congestionamento, no qual os pacotes foram encaminhados livremente, sem gargalos que interfiram no desempenho do encaminhamento dos pacotes.

Na Tabela 4 estão identificados os eventos escalonados para a simulação da rede MPLS.

Tabela 4: Eventos da simulação da rede MPLS

Momento da simulação	Evento
0.0	Início da simulação
0.1	Início do tráfego da rede
0.1	Envio de mensagem LDP para o LSR de egresso
0.2	Envio de mensagem LDP ao LSR de ingresso para a criação da rota explícita
0.3	Criação de LSP para os fluxos de áudio e FTP
0.35	Início da transmissão do fluxo FTP
0.4	Início da transmissão do fluxo de áudio
40	Fim da simulação

#### 4.4.1. Resultados da simulação da rede MPLS

Para a análise do desempenho da utilização do MPLS com Engenharia de Tráfego, foram colhidas as mesmas informações analisadas na simulação da rede IP. Do fluxo de áudio foram coletadas informações do atraso dos pacotes, da variação do atraso (*Jitter*), descarte de pacotes, e taxa de transmissão. Para o estudo do desempenho do fluxo FTP com garantia de banda, foi analisada a taxa de transmissão do fluxo.

O Gráfico 5 mostra o atraso na entrega dos pacotes de áudio com a aplicação da ET com MPLS.

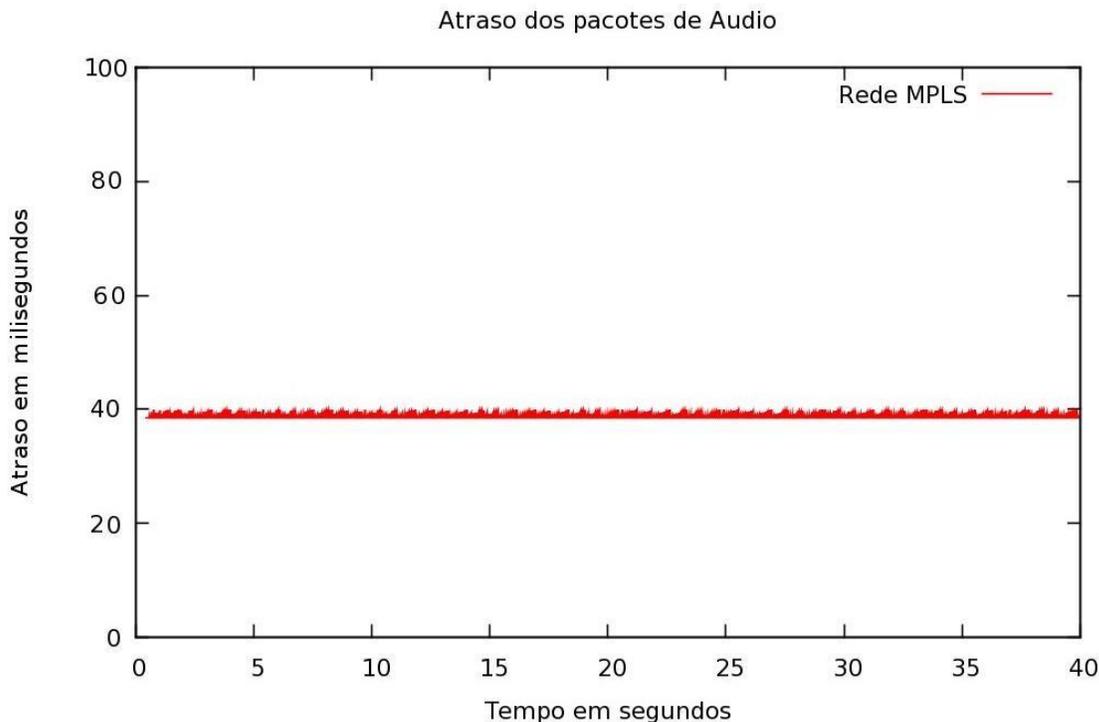


Gráfico 5 : Atraso dos pacotes de áudio na rede MPLS

Analisando o Gráfico 5, é possível perceber que o atraso nos pacotes se manteve praticamente estável durante todo o tempo da simulação, sofrendo pouca variação em torno de 39 a 40 milissegundos, isso se dá, devido ao fato do tráfego fluir livremente através da rede sem a ocorrência de filas ou congestionamento que provocasse maior atraso na entre dos pacotes.

A variação do atraso (*Jitter*), conforme pode ser observada no gráfico 6, também se manteve estável durante todo o tempo de simulação, tal estabilidade se deve à otimização dos recursos aplicada à rede, no qual o tráfego foi melhor distribuído pelos caminhos disponíveis entre os pontos de origem e destino, evitando congestionamentos e filas de pacotes.

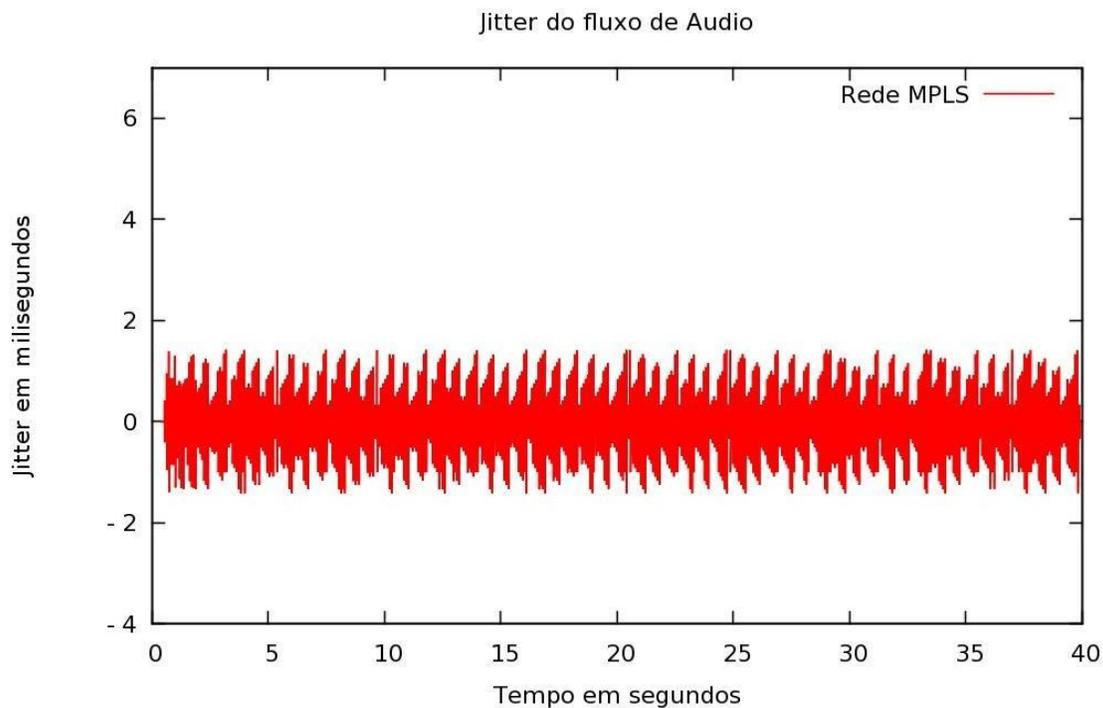


Gráfico 6: *Jitter* do fluxo de áudio na rede MPLS

Na simulação da rede MPLS o *Jitter* fica constantemente entre valores a cerca de -1.4 e 1.4 milissegundos durante todo o tempo de simulação.

Com a aplicação de ET, a taxa de transmissão do fluxo de áudio se manteve constante, e durante todo o tempo de simulação a vazão ficou em torno de 80Kbps, conforme definido na simulação e apresentado no Gráfico 7.

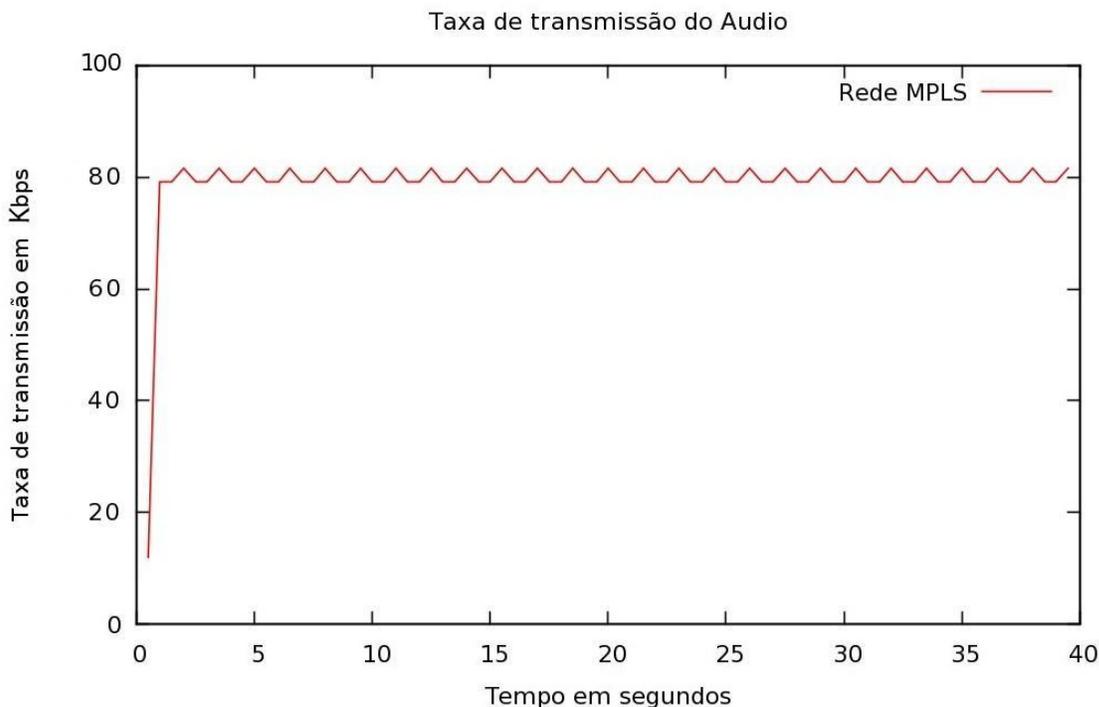


Gráfico 7: Vazão do fluxo de áudio na rede MPLS

No cenário da rede MPLS, assim como na rede IP, foram colhidas informações sobre a quantidade de pacotes descartados durante o tempo de simulação. A Tabela 5 apresenta a quantidade de pacotes enviados e descartados de acordo com o fluxo.

Tabela 5: Descarte de pacotes na rede MPLS

Fluxo	Pacotes enviados	Pacotes descartados	Descarte de pacotes (%)
Áudio	2640	0	0%
FTP	8971	0	0%
Outros fluxos	242224	0	0%

De acordo com a Tabela 5, com a utilização da ET nenhum pacote foi perdido, ou seja, a entrega dos pacotes foi garantida em 100% no cenário simulado, e como não foi necessária a retransmissão de pacotes FTP, o número de pacotes FTP entregues aumentou em 31,5%

A taxa de transmissão do fluxo FTP com garantia de banda está representada no Gráfico 8.

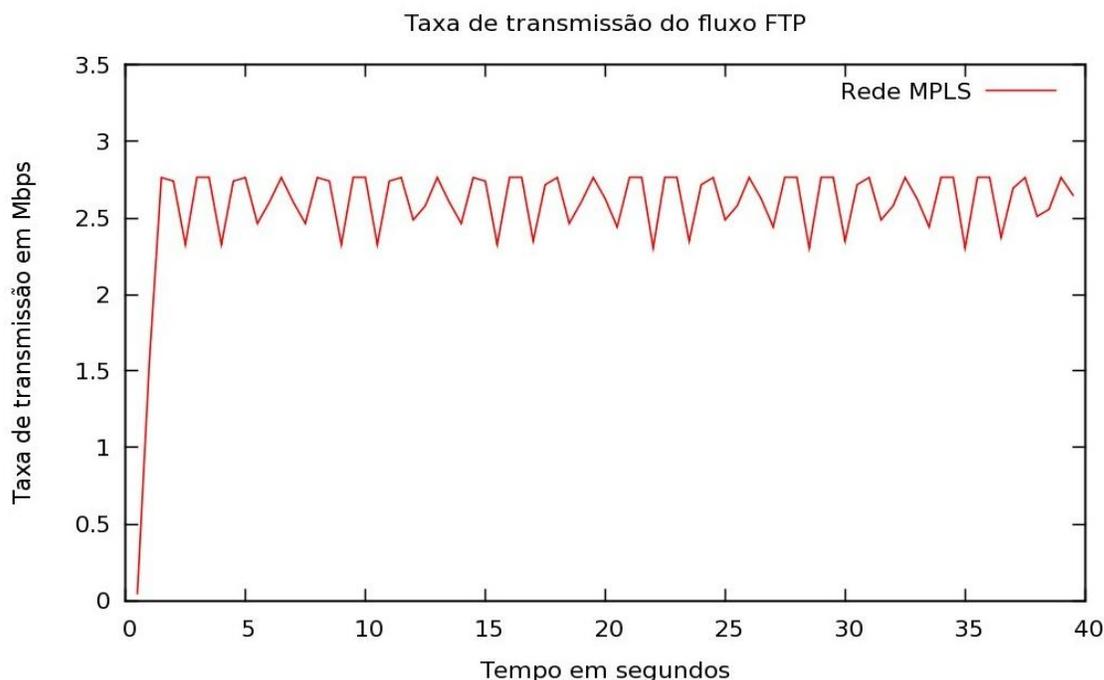


Gráfico 8: Vazão do fluxo FTP na rede MPLS

Conforme visto no Gráfico 8, o fluxo FTP varia entre 2.3Mbps e 2.8Mbps, esta variação ocorre porque a transmissão FTP é feita em rajadas, porém durante todo o tempo da simulação é atingida uma média em torno de 2.5Mbps conforme definido para a simulação, desta forma o acordo de nível de serviço foi mantido.

#### 4.5. Comparação entre a rede IP e a rede MPLS

Depois da simulação dos cenários de rede IP e MPLS, e coletadas informações sobre o estado da rede e características do tráfego, os resultados foram comparados para verificar se o desempenho da rede obteve uma real melhora após a implantação de Engenharia de Tráfego com MPLS.

Para a validação da qualidade do serviço prestado por ambos os cenários foram utilizadas métricas recomendadas pela ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector of ITU*), que é responsável por coordenar padronizações relacionadas às telecomunicações.

No Gráfico 9, estão dispostos os atrasos do fluxo de áudio nas simulações dos dois cenários.

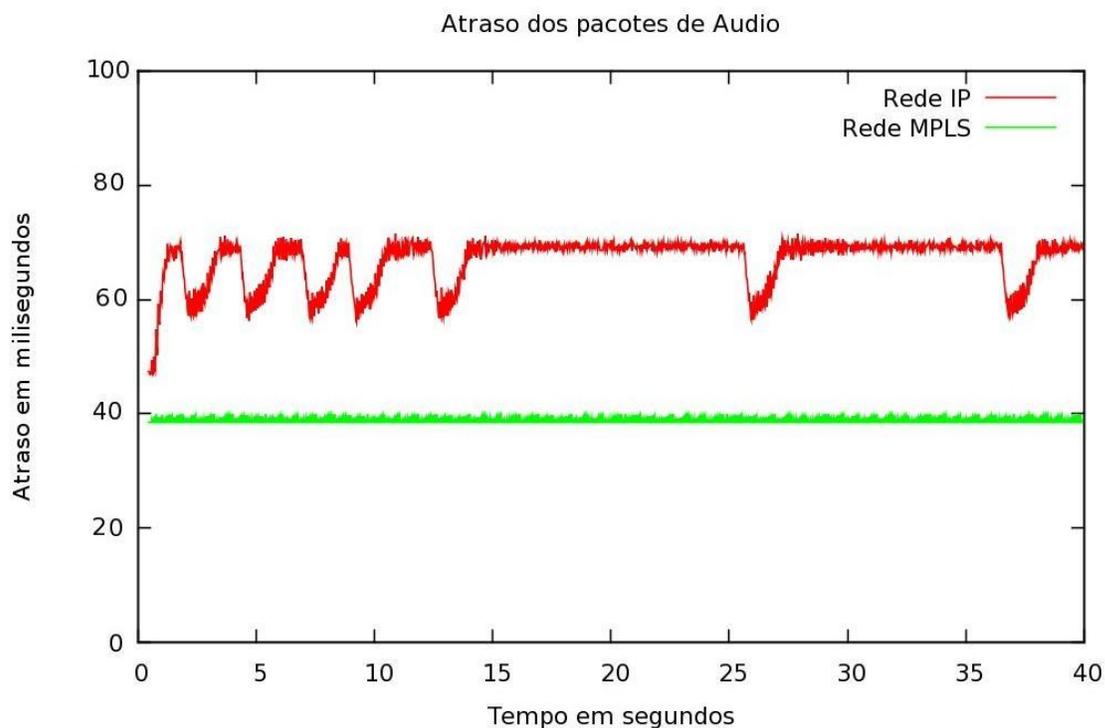


Gráfico 9: Atraso do fluxo de áudio na rede IP e MPLS

A linha vermelha mostrada no Gráfico 9 representa o fluxo de áudio da rede IP, e a linha verde o fluxo de áudio da rede MPLS.

O atraso nos pacotes da rede IP inicia a simulação a aproximadamente 45ms, e imediatamente aumenta para 75ms. Durante a simulação o atraso dos pacotes varia em torno de 55 e 75ms, porém em maior parte do tempo se estabiliza a cerca de 75ms. A ITU-T recomenda que o atraso máximo na entrega nos pacotes de áudio seja de 150ms, portanto a rede IP está dentro do limite recomendado para a execução sem perder a qualidade da transmissão em relação ao atraso.

Na rede MPLS o atraso nos pacotes fica praticamente estável durante todo o tempo de simulação, tendo pouca variação entre 39 e 40ms. Apesar do cenário da rede IP conseguir atingir um bom nível de qualidade de transmissão referente ao atraso, com a aplicação de ET e MPLS em vários momentos pôde-se notar uma redução expressiva em torno de 47% do tempo do atraso.

O Gráfico 10 apresenta o *Jitter* do fluxo de áudio dos dois cenários simulados, na cor vermelha o *Jitter* da rede IP, e na cor verde o *Jitter* da rede MPLS.

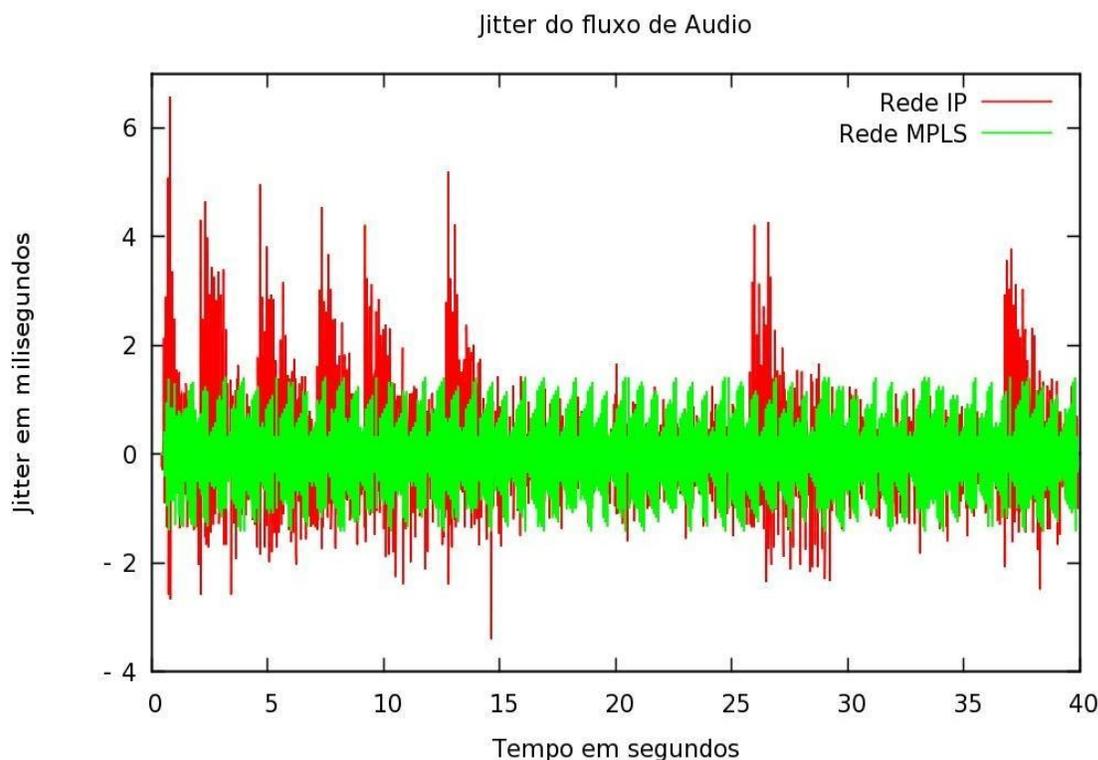


Gráfico 10: *Jitter* do áudio na rede IP e MPLS

Na simulação do cenário da rede IP a variação do atraso sofre muitas oscilações em diversos momentos, variando de -3 a 5ms, em um determinado momento um dos pacotes atinge 7ms. No entanto a UTI-T recomenda que o tempo máximo atingido pela variação do atraso deve ser de 30ms, dessa maneira, e rede IP está dentro dos padrões aceitáveis de qualidade referente ao *Jitter*.

Apesar da rede IP conseguir atingir o nível de qualidade para a transmissão de áudio referente ao *Jitter*, a rede MPLS se mostrou mais eficiente pois mantém a variação do atraso mais constante, uniforme e mais reduzida em torno de -1.4 a 1.4ms. Mesmo os valores do *Jitter* estando distantes do limite máximo de 30ms, com a aplicação de ET e MPLS a redução na variação do atraso foi de aproximadamente 72% em vários momentos da simulação.

A vazão do fluxo de áudio está sendo apresentada no Gráfico 11.

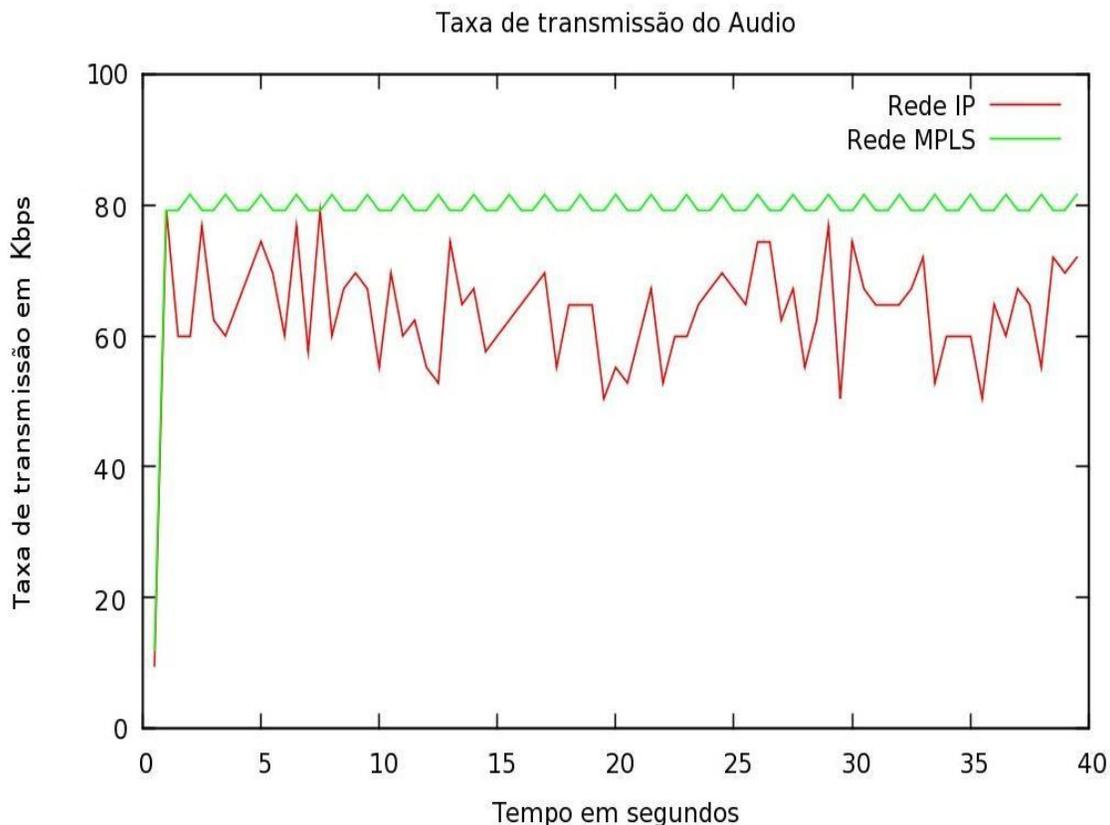


Gráfico 11: Vazão do fluxo de áudio nas redes IP e MPLS

Como pode ser observada na cor vermelha a taxa de transmissão da rede IP, devido ao congestionamento da rede, não consegue transmitir na capacidade ideal definida na simulação, transmitindo uma quantidade insuficiente de dados para manter a qualidade da aplicação de áudio.

Com a aplicação de ET e encaminhamento através do MPLS, a taxa de transmissão do fluxo de áudio aumenta e se mantém estável a cerca de 80Kbps, alcançando a vazão definida na simulação.

Outro fator importante analisado foi o descarte de pacotes dos fluxos nos cenário MPLS e IP apresentados na Tabela 6.

*Tabela 6: Descarte de pacotes nas redes IP e MPLS*

<b>Fluxo</b>	<b>Pacotes descartados pela rede IP (%)</b>	<b>Pacotes descartados pela rede MPLS (%)</b>
Áudio	19,65%	0%
FTP	0,1%	0%
Outros fluxos	4,22%	0%

Conforme mostrado na Tabela 6, o descarte dos pacotes de Áudio ficou em 19,65% do total de pacotes enviados, excedendo o limite máximo definido pela ITU-T que recomenda um descarte máximo de 1% do total de pacotes transmitidos, dessa forma o serviço de áudio não pôde ser fornecido, já que as condições da rede não permitem garantir qualidade. Já no cenário simulado com MPLS e ET nenhum pacote foi descartado, no qual o serviço pode ser fornecido tranquilamente.

Com a implantação da Engenharia de Tráfego também foi notada uma melhora considerável na transmissão do fluxo FTP com garantia de banda.

Na simulação da rede IP, o serviço acordado definido em 2.5Mbps de taxa de transmissão não foi cumprido, pois em nenhum momento da simulação a vazão atinge a velocidade esperada, nos momentos em que o tráfego tem o melhor desempenho, a taxa de transmissão chega ao máximo em 2.2Mbps, estando abaixo do mínimo aceitável para o fluxo, e também deve ser considerando que em vários momentos da simulação a velocidade diminui e atinge níveis muito baixos em torno de 0.7Mbps.

Com a implantação da Engenharia de Tráfego, foi possível atingir a velocidade definida na simulação, conforme pode ser visualizado no Gráfico 12, enquanto que o fluxo da rede IP descrito acima não atinge a velocidade mínima definida, o fluxo MPLS mostrado na cor verde, oscila em torno de 2.6Mbps.

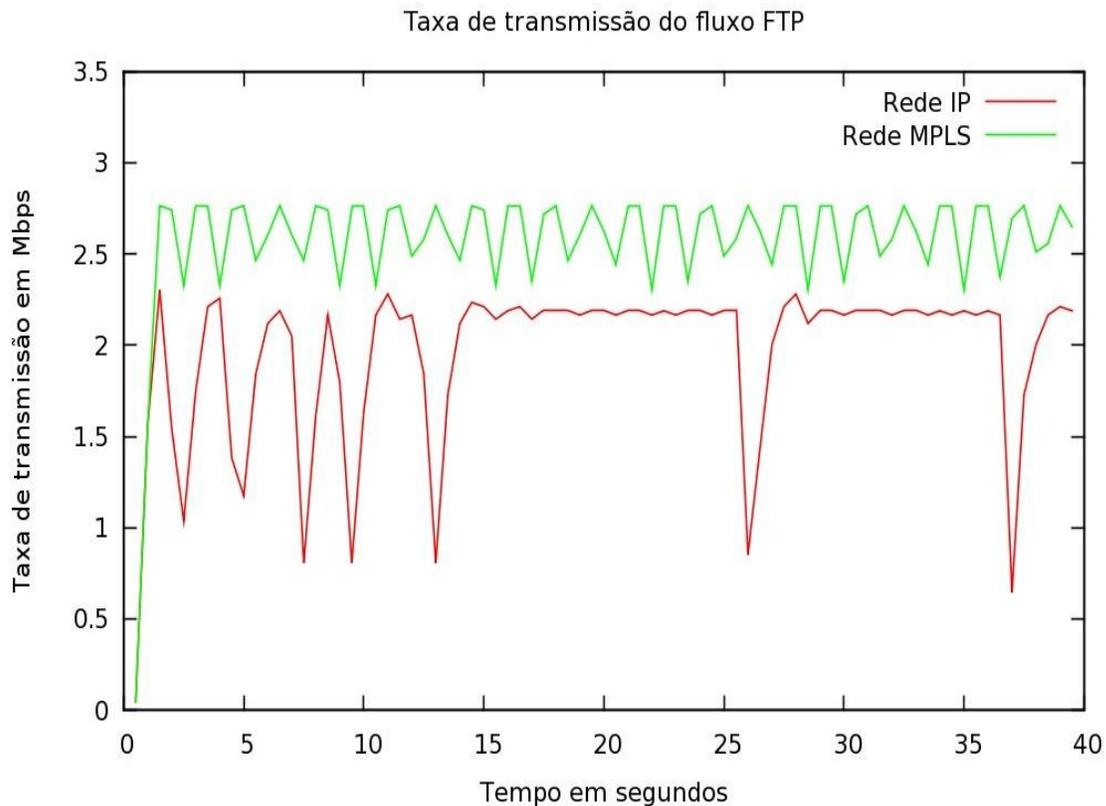


Gráfico 12: Vazão do fluxo FTP nas redes IP e MPLS

O fluxo MPLS na cor verde sofre uma oscilação entre 2.3 e 2.8Mbps, essa variação ocorre devido ao fato da transmissão do fluxo FTP se dar em rajadas, mas não compromete a efetividade da transmissão que se mantém em uma média de 2.6Mbps.

Como não houve descarte de pacotes do fluxo FTP, não foi necessária a retransmissão dos mesmos, sendo assim também foi notado um aumento significativo na quantidade de pacotes FTP entregues ao seu destino.

O Gráfico 13 ilustra a comparação entre a quantidade de pacotes entregues com êxito em cada cenário.

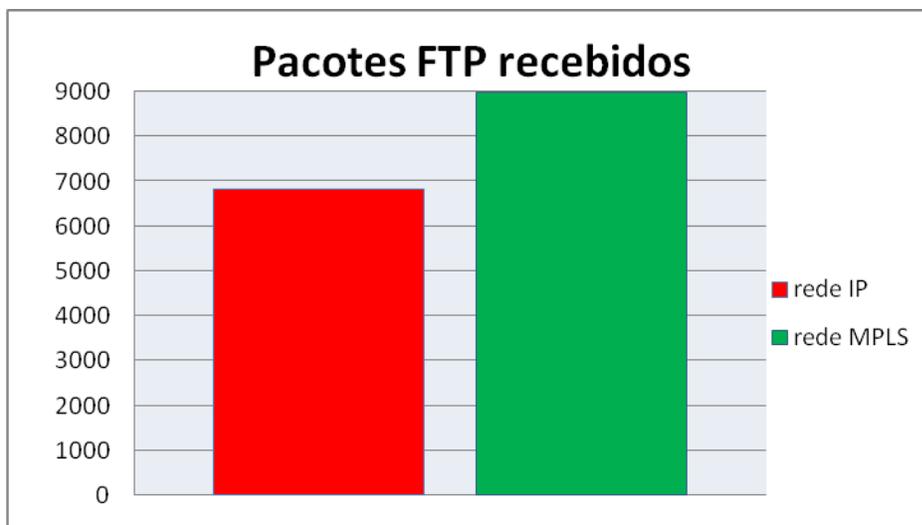


Gráfico 13: Pacotes FTP recebidos

No Gráfico 13, a coluna vermelha representa a quantidade de pacotes FTP transmitida com sucesso pela rede IP, e na cor verde os pacotes FTP entregues pela rede MPLS. A coluna vermelha mostra que foram entregues 6821 pacotes, enquanto na coluna verde são 8971, representando 31,5% mais pacotes FTP transmitidos com a aplicação de ET e MPLS.

#### 4.6. Considerações finais

Analisando os resultados obtidos, pôde-se observar que o cenário simulado pela rede IP não oferece condições suficientes para que o serviço prestado pelo fluxo de áudio seja fornecido. Porém, com a utilização das políticas propostas pela Engenharia de Tráfego aplicada ao fluxo, aliadas ao MPLS, foi possível criar condições para que houvesse qualidade no serviço prestado para a transmissão de áudio. A Tabela 7 apresenta uma breve comparação entre os resultados obtidos entre as duas simulações.

*Tabela 7: Comparação entre as simulações*

<b>Critério analisado</b>	<b>Rede IP</b>	<b>Rede MPLS</b>	<b>Valor aceitável</b>
Atraso (ms)	55 a 75	39 a 40	150 máximo
Jitter (ms)	-3 a 6	-1,4 a 1,4	30 máximo
Vazão (Kbps)	50 a 70	80	80 mínimo
Descarte de pacotes (%)	19,65	0	1 máximo

Conforme pode ser observado na Tabela 7, a rede IP não consegue atingir os parâmetros aceitáveis de qualidade referentes a vazão e ao descarte de pacotes, enquanto que na rede MPLS todos os parâmetros são alcançados.

O serviço fornecido pelo fluxo FTP com garantia da banda também não foi alcançado pela rede IP devido a sobrecarga na rede, ficando durante todo o tempo abaixo da velocidade definida na simulação variando entre 0.7 e 2.2Mbps. Após a aplicação das políticas de ET foi possível dar condições ao fluxo FTP transmitir em sua capacidade efetiva atingindo a velocidade definida na simulação.

Assim sendo, foi obtida uma grande melhora na eficiência da rede com a otimização da utilização dos recursos e redistribuição dos fluxos de dados pelos caminhos disponíveis na rede.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O crescimento da demanda por produtos e serviços com maior qualidade e menor custo vem fazendo com que as empresas busquem alternativas e tecnologias para manter a competitividade perante o mercado consumidor. Diante deste cenário, o grande desafio da maioria das empresas de telecomunicações, como provedores de Internet, geralmente é oferecer um acesso de qualidade, com garantia de velocidade, estabilidade e baixo custo, de modo a conseguir a satisfação do cliente, porém, as tecnologias de roteamento utilizadas na Internet não levam em consideração as diferentes características e necessidades dos tipos de serviço e tráfego que são fornecidos através dos recursos da rede.

Através deste trabalho conclui-se que em uma rede na qual são implantadas técnicas de Engenharia de Tráfego é possível tratar os diferentes tipos de fluxos de dados de aplicações distintas, atentando as suas especificidades e requisitos importantes para o funcionamento ideal do serviço oferecido, mostrando-se melhor que em uma rede IP.

Uma vez que os fluxos de dados podem ser gerenciados de acordo com os recursos de rede, várias possibilidades podem ser trabalhadas pela administração de rede, como fornecimento de diferentes acordos de nível de serviço, qualidade de serviço e serviços diferenciados, agregando maior vantagem competitiva pela variedade de serviços oferecidos ao cliente.

O uso do MPLS como protocolo de roteamento mostrou-se mais eficiente que o método utilizado na rede IP por número de saltos, pois foi possível definir rotas explícitas para os fluxos das aplicações com tratamento diferenciado, evitando pontos críticos de congestionamento, com o objetivo de garantir os níveis de qualidade exigidos pelos serviços.

Neste trabalho foi possível garantir a qualidade dos serviços oferecidos, sem mudanças na infra-estrutura da rede, apenas otimizando a utilização dos recursos através do MPLS, enquanto que na rede IP os requisitos mínimos de qualidade não foram plenamente alcançados.

Apesar da rede IP alcançar alguns requisitos mínimos de qualidade para as aplicações no cenário simulado, alguns não foram atingidos, fato que prejudicaria a

utilização efetiva do serviço. Com o MPLS a rede atingiu todos os requisitos necessários e mostrou melhor desempenho em todos os elementos analisados. Conforme visto nos resultados das simulações, houve uma redução de 47% no atraso dos pacotes, 72% de redução no *jitter* e aumento de 31,5% na transmissão de pacotes FTP além de não haver descarte de pacotes.

A adoção de técnicas de QoS como método de definição de rotas automáticas através da rede MPLS pode ser realizada como trabalho futuro, pois assim não será necessária a intervenção manual para a definição de rotas explícitas.

Também fica como trabalho futuro a implantação de prioridades diferentes nos pacotes para a classificação nas filas de encaminhamento, de forma a priorizar pacotes mais sensíveis ao atraso e analisar as diferenças no desempenho.

Enfim, com base nos estudos realizados, foi possível concluir que a utilização do MPLS com Engenharia de Tráfego apresenta-se mais eficiente que técnicas convencionais da rede IP, quanto ao desempenho, gerenciamento e otimização dos recursos da rede.

## REFERÊNCIAS

AWDUCHE, D. O.; CHIU, A.; ELWALID, A.; WIDJAJA, I.; XIAO, X. **A Framework for Internet Traffic Engineering**. Internet-Draft, julho 2000. Disponível em <<http://www.ietf.org/proceedings/01aug/I-D/draft-ietf-tewg-framework-05.txt>> Acesso em: 9 abril 2009.

AWDUCHE, D.; MALCOLM, J.; AGOGBUA, J.; O'DELL, M.; MCMANUS, J. **Requirements for traffic engineering over MPLS**. RFC 2702, 1999.

AWDUCHE, D. **RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels**. FRC 3209 - 2001 Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3209.txt>> Acesso em: 13 mai. 2009

CHOWDHURY, Dhiman D. **Projetos avançados de rede IP: roteamento, qualidade de serviço e voz sobre IP**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 380p.

DIAS, Roberto. **Engenharia de Tráfego em Redes IP sobre Tecnologia MPLS: Otimização Baseada em Heurísticas**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - Abril 2004.

ISI, Information Sciences Institute. **The Network Simulator – ns2**. EUA - Califórnia: 2002. University of Southern Califórnia. Disponível em <<http://www.isi.edu/nsnam/ns>>. Acesso em: 03 mai. 2009.

Li, T. and Y. Rekhter, "**Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering**", RFC 2430, Out. 1998

MAGALHÃES, Mauricio F.; CARDOZO, Eleri. **Introdução à Comutação por Rótulos Através de MPLS**. Campinas: [2001]. 48p. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, UNICAMP, [2001].

MAIA, Nilton Alves. **Engenharia de tráfego em domínio MPLS utilizando técnicas de inteligência computacional**. Tese de Doutorado em Engenharia elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais – Nov. 2006

OLIVEIRA, Márcio Izaquiel de. **Obtenção de QoS através de MPLS e DIFFSERV**. Trabalho de conclusão do curso de Ciência da computação do Centro Universitário Feevale – Nov. 2005.

OSBOURNE, Eric; SIMHA, Ajay. **Engenharia de tráfego com MPLS**. 1ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 614p.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4ed. Tradução Vanderberg D. de Souza, Rio de Janeiro 2003. 945p.

W. Lee, M. Hluchyi, and P. Humblet, "**Routing Subject to Quality of Service constraints in Integrated Communication Networks.**" IEEE Network, July 1999

XIAO, X.; NI, L. **Internet QoS: a big picture.** Department of Computer Science  
3115 Engineering Building Michigan State University East Lansing, março/abril 1999.