

# Modelo para Análise e Otimização de Backbone para Tráfego IPv6 utilizando MPLS-TE

Roberto J. L. Mendonça<sup>1</sup>, Alessandra B. S. Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Superintendência de Operações – Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO) – Recife – PE – Brazil

<sup>2</sup>Secretaria de Tecnologia da Informação e Comunicação – Tribunal de Justiça de Pernambuco (TJPE) – Recife – PE – Brazil

{robmen, alessandrabsa}@gmail.com

**Abstract.** *The current need to increase use of networking services and internet, it means there are requirements for consolidation and convergence of services, facilitating administration and delivery of services, and greater economy of public resources in services delivery. In this context, this paper presents a model for deploying next generation networks IPv6 over MPLS (Multi Protocol Label Switching) allowing better management and performance of network resources available and thereby enable the provision of more services with existing resources.*

**Resumo.** *A necessidade atual de maior utilização de serviços de redes e internet faz com que haja uma exigência para consolidação e convergência dos serviços, facilitando assim a administração e a entrega dos serviços, bem como uma maior economicidade dos recursos públicos na prestação dos serviços. Neste contexto, este artigo apresenta um modelo para implementação de redes de nova geração IPv6 sobre MPLS (Multi Protocol Label Switching) permitindo maior gerência e otimização dos recursos de rede disponíveis e com isso, permitir a disponibilização de mais serviços com os recursos existentes.*

## 1. Introdução

Novas tecnologias estão sendo constantemente desenvolvidas para atender às demandas causadas pelo aumento da utilização da Internet pela população, assim como um aumento das exigências por serviços de comunicação de dados, capazes de integrar várias mídias como dados, voz e vídeo, com qualidade de serviço e segurança em redes de nova geração.

Em backbones modernos, o uso da tecnologia MPLS traz grandes benefícios, evitando a complexidade de backbones antigos, baseados em tecnologias de camada dois do modelo de referência *Open Systems Interconnection* (OSI), [Tanenbaum 2011] os quais provocam problemas de escalabilidade, desempenho e administração.

Combinando o processo de roteamento de camada três com a comutação sobre a camada dois, a arquitetura IP sobre MPLS [Lucek and Minei 2011] oferece maior possibilidade de gerenciamento e Engenharia de Tráfego, reduzindo o processamento necessário para realizar o roteamento de datagramas de rede.

A tecnologia MPLS também possibilita o uso de aplicações convergentes de nova geração, o que a torna bastante atrativa para o governo atual, que procura soluções que possibilitem a implementação de redes de alta velocidade, interoperáveis e, principalmente trazendo maior economicidade aos cofres públicos, pela unificação das comunicações de voz, vídeo e dados. Se apresentando assim, como um modelo que oferece diversas aplicabilidades, visto a possibilidade de transportar em seu cabeçalho informações adicionais, como parâmetros de qualidade de serviço (QoS) e orientações de tráfego.

Para que seja possível a implantação do protocolo IPv6 em um backbone MPLS, alguns modelos foram criados para realizar a transição entre IPv4 e IPv6. Entre esse modelos, o modelo 6PE provê uma extensão dos roteadores de borda do backbone, mantendo o roteamento e sinalização IPv4 no núcleo do provedor, mostrando-se um modelo de fácil implementação, a um baixo custo [Lins *et al.*, 2012].

Este artigo tem por objetivo apresentar um modelo para análise do serviço MPLS-TE, transportando pacotes IPv6 através do modelo/arquitetura 6PE, contribuindo no processo de implantação de novos serviços em um backbone a um custo reduzido.

Neste artigo é apresentado desde os conceitos fundamentais da arquitetura IP sobre MPLS, passando pelos serviços que a tecnologia provê, com foco na Engenharia de Tráfego, os fundamentos base do protocolo IPv6. Foi feito um estudo sobre as arquiteturas IPv6 sobre MPLS e criado um ambiente de simulação e demonstrações para comprovação das funcionalidades elencadas. O artigo é finalizado com a conclusão e propostas para trabalhos futuros.

## 2. A Arquitetura IP sobre MPLS

O MPLS é uma tecnologia desenvolvida no âmbito do *Internet Engineering Task Force* (IETF), inicialmente como uma tentativa de padronizar a comutação de pacotes baseada na troca de rótulos, e com isso melhorar a eficiência de fluxos de tráfegos através da rede, modificando um paradigma fundamental até então existente nas redes IPs, com a inserção de um rótulo ao datagrama, propiciando dessa forma, a comutação IP [Pepelnjak, 2000].

O MPLS surgiu como uma tecnologia que oferece algumas funcionalidades não existentes em redes IPs convencionais. Trata-se de uma tecnologia aberta, que foi apresentada inicialmente como uma solução que possibilitava melhorar o desempenho das redes IPs na função de encaminhamento de pacotes IPs, combinando o processo de roteamento de nível três com a comutação de nível dois para realizar o encaminhamento de datagramas através de pequenos rótulos de tamanho fixo, conforme Figura 1. Tais rótulos são números utilizados no protocolo MPLS e, através dos mesmos, a decisão de qual interface encaminhar o datagrama é feito [De Ghein 2007].



Figura 1 - Cabeçalho MPLS

Outra vantagem significativa da arquitetura IP sobre MPLS que se pode destacar diz respeito ao encaminhamento de datagramas ao longo de um caminho. O protocolo

MPLS trabalha com encaminhamento dos pacotes baseado em rótulos, pois os roteadores de núcleo, conhecidos como P (*Provider*), não têm acesso ao endereço IP de destino do pacote, assim não há inteligência de roteamento nos roteadores de núcleo, e sim o encaminhamento local, tomando como base os valores dos rótulos dos pacotes, ou seja, fazendo um processo apenas de comutação de rótulos [Enne 2009].

### 3. O Serviço de Engenharia de Tráfego

A motivação real para implantação da tecnologia MPLS na rede são as aplicações que ela permite. Tais aplicações são difíceis de implementar, ou operacionalmente quase impossíveis de realizar com as redes IPs tradicionais. Alguns desses serviços são: AToM (Any Transport over MPLS), VPN (*Virtual Private Network*), QoS e Engenharia de Tráfego. Será dada ênfase ao serviço de Engenharia de Tráfego, foco desse artigo.

A Engenharia de Tráfego permite direcionar o tráfego da rede para caminhos diferentes dos que foram estabelecidos por um roteamento IP convencional, distribuindo melhor o tráfego na rede, evitando pontos de congestionamento e otimizando a utilização de recursos de rede. Pode-se analisar um caso típico do benefício do uso da engenharia de tráfego, examinando o problema da Figura 2, conhecido como “problema do peixe” [Osborne 2000].

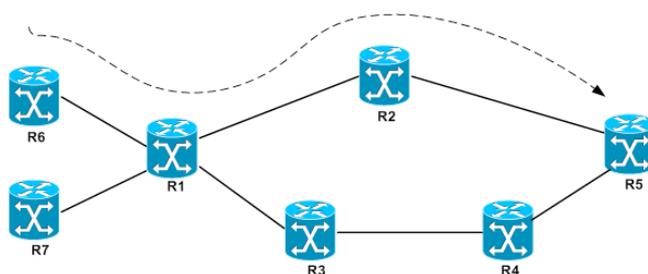


Figura 2 - O problema do peixe.

Na Figura 2, é visualizado que existem dois caminhos do R1 para o R5. O primeiro é passando por R1, R2 e R5 e o segundo passa por R1, R3, R4 e R5.

O MPLS-TE permite um esquema de engenharia de tráfego onde o roteador conhecido como *head end* do LSP (*Label Switched Path*) pode calcular a rota de forma mais eficiente através da rede em direção ao roteador conhecido como *tail end*. O *head end* pode fazer isso se ele conhece a topologia da rede. Ele também precisa saber a banda disponível de todos os enlaces na rede e é necessário habilitar MPLS nos roteadores para estabelecimento do LSP fim a fim.

Nesse caso, o tráfego originado em R6 passa a percorrer o caminho R6-R1-R2-R5, enquanto o tráfego gerado por R7 percorre o caminho R7-R1-R3-R4-R5. Com o MPLS-TE é possível configurar dois caminhos, com dois diferentes LSP utilizados, de forma que diferentes rótulos serão utilizados.

### 4. O Protocolo IPv6 - Fundamentos e Características

O IPv6 possibilita não só a solução dos problemas atuais de esgotamento do IPv4, mas também oferecer funcionalidades necessárias para acompanhar as novas tendências tecnológicas que surgirem. As especificações do IPv6 foram apresentadas

inicialmente na RFC (*Request for Comments*) 1883 de dezembro de 1995, no entanto, em dezembro de 1998, esta RFC foi substituída pela RFC 2460 [Santos *et al*, 2009].

Algumas novas características do IPv6 são: maior espaço de endereçamento: um endereço IPv6 tem 128 bits de comprimento, permitindo níveis mais específicos de agregação de endereços; escalabilidade de roteamento multicast também foi melhorada através da adição do campo “escopo” no endereço; simplificação do cabeçalho; suporte a cabeçalhos de extensão, trazendo uma maior flexibilidade para a introdução de novas opções no futuro; capacidade de identificar fluxos de dados; suporte a autenticação e privacidade; mudanças na fragmentação dos pacotes, sendo apenas na origem.

#### 4.1. Arquiteturas IPv6 sobre MPLS

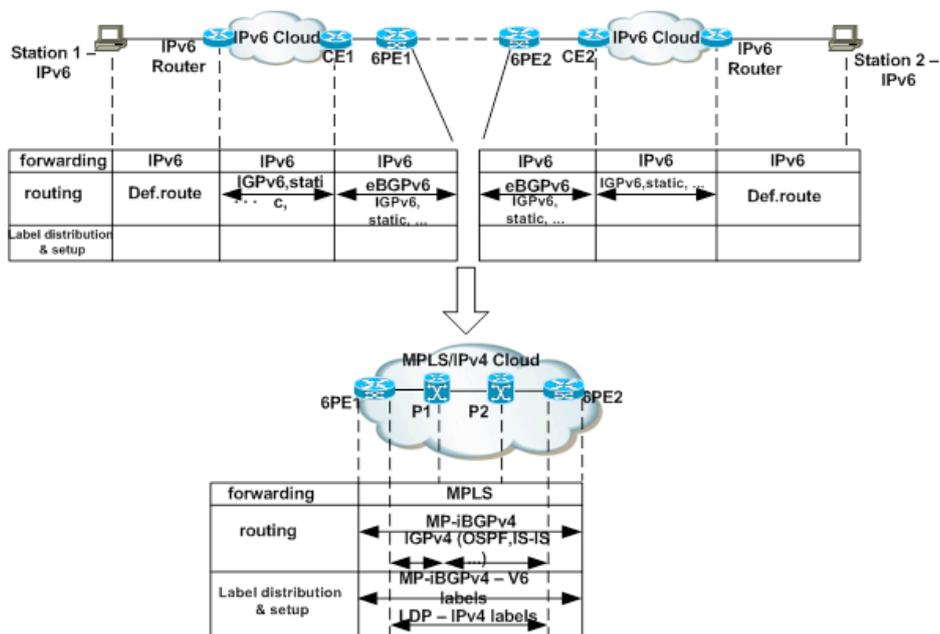
Há muitas técnicas disponíveis para integrar serviços IPv6 sobre o núcleo dos provedores de serviços, tais como redes IPv6 dedicadas rodando sobre várias tecnologias de camada 2 e pilha dupla IPv4-IPv6. Condições são favoráveis para a introdução de um serviço IPv6 na borda da rede, de forma escalável, sem qualquer restrição de endereços IPv6 e sem colocar o backbone em risco.

A migração para IPv6 pode fazer uso de um método de integração conhecido como 6PE (IPv6 Provider Edge over MPLS), utilizada pelo fabricante Cisco Systems [De Guein 2007]. Portanto, o método 6PE é o método de integração escolhido para esse artigo e recomendado para futura adoção do IPv6 no backbone, eliminando o impacto na operação da rede e aumentando o lucro gerado pela infraestrutura IPv4 já existente. Na Figura 3 pode-se visualizar a arquitetura global do método 6PE. Vale salientar que, apesar de outros fabricantes (Ex. Juniper e Huawei) também fazerem uso desta técnica, focamos no fabricante Cisco System para este trabalho, devido à facilidade do uso de ferramenta para simulação do ambiente.

Pode-se perceber na arquitetura da Figura 3, que 04 tipos de interações de roteamento podem ser encontradas entre as estações IPv6: A nuvem IPv6 rodando um IGP IPv6 (RIPng, IS-ISv6, OSPFv3), os roteadores CEs e o PEs trocando informações de roteamento IPv6 através de um IPv6 EGP (Exterior Gateway Protocol) – MP-BGP (Multi Protocol Border Gateway Protocol), IGP ou rota estática, os roteadores PEs formando um par de roteamento IPv6 através do MP-BGP e o roteamento na nuvem MPLS/IPv4, rodando um IPv4 IGP (IS-IS, OSPF) para alcançar os PEs.

Para que o transporte IPv6 possa ocorrer de forma transparente no backbone, é necessário uma hierarquia de labels no roteador 6PE de ingresso. O top label provê conectividade no núcleo MPLS-IPv4, sendo distribuído pelo protocolo LDP (*Label Distribution Protocol*). O próximo label é utilizado pelo roteador 6PE de egresso para encaminhamento IPv6, sendo este distribuído pelo protocolo MP-BGP [Lancy, 2008].

Percebe-se, nesse caso, a saída do pacote IPv6 puro da Station-1, sendo acrescentado labels IPv4 (L1) e IPv6 (L2) no 6PE1, efetuada a troca do top label (L1) pelo label L3 pelo roteador de núcleo (P1) e retirado o mesmo no P2. No 6PE2 o label L2 é retirado para entrega do IPv6 puro a Station 2.



**Figura 3 - Arquitetura Global 6PE.**

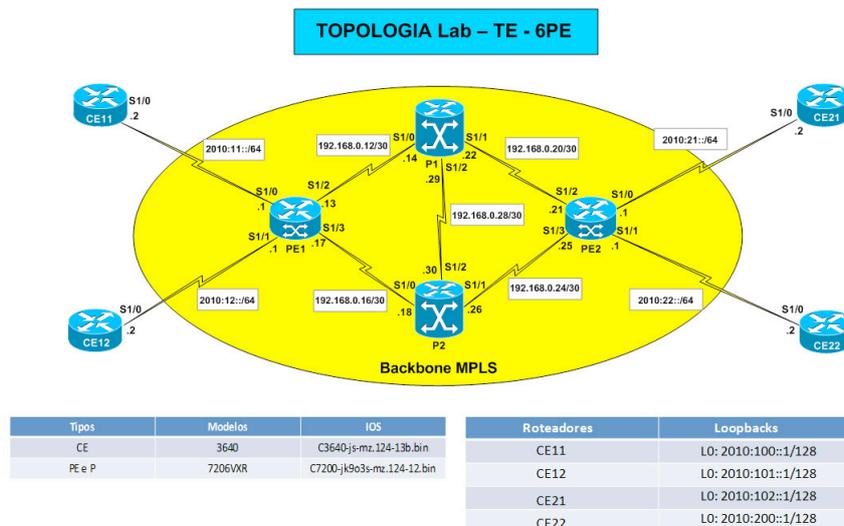
## 5. Modelo Proposto e Resultados

Nesta seção são apresentadas as ferramentas utilizadas, hardwares, softwares e geradores de tráfegos e protocolos utilizados, bem como os resultados e benefícios alcançados com a pesquisa.

### 5.1 Materiais e Métodos

São utilizados emuladores Dynamips (2013) os quais são criados para transcrever instruções de um determinado processador para o processador no qual ele está sendo executado, sendo capaz de reproduzir funções de circuitos integrados e chips do sistema de hardware. A Topologia base, que servirá como base para todos os testes realizados, é apresentada na Figura 4. Embora essa topologia não reflita a realidade de um backbone em sua dimensão, foi procurado utilizar uma topologia suficiente para demonstração do serviço de Engenharia de Tráfego e transporte do protocolo IPv6.

Como hardware, foram utilizados 04 Roteadores - Modelo 7206VXR e 04 Roteadores - Modelo 3640. Estes farão função de CE. Para escolha da versão do software utilizado, foram consideradas as características necessárias para a implementação dos serviços utilizados. Foi utilizada a versão do Sistema Operacional (IOS) - 12.4-7a. e 12.4-13b. Para geração dos Gráficos o SNMP (Simple Network Management Protocol) Traffic Grapher (STG) (\_\_\_SNMP Tool, 2013) é um programa que permite controlar até 2 OIDs (Object Identifiers) SNMP em tempo real. Os protocolos de roteamento IGP e EGP escolhidos são o IS-IS como protocolo IGP e o BGP como protocolo EGP.

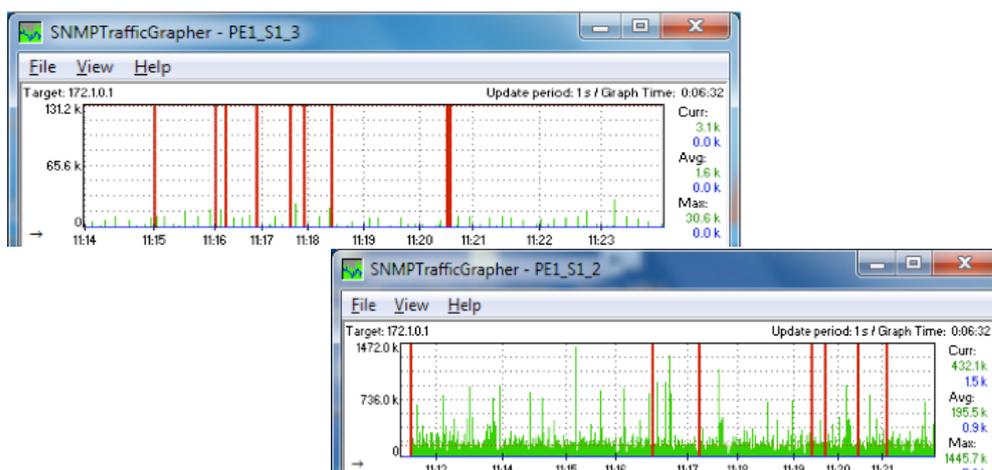


**Figura 4 - Topologia Base.**

## 5.2. Resultados - Engenharia de Tráfego (TE)

O MPLS-TE permite caminhos alternativos distribuindo melhor o tráfego, evitando congestionamentos e propiciando redundância no acesso. Nesse caso, o protocolo IPv6 será utilizado como protocolo roteável para testes do serviço de TE, fazendo uso da arquitetura 6PE, conforme explicado anteriormente.

Na simulação realizada, foi feita inicialmente uma análise sem a aplicação da Engenharia de Tráfego, onde foi percebido que, como o protocolo de roteamento IS-IS escolhe o melhor caminho, os demais ficarão ociosos, e apenas serão utilizados como redundância. Podem-se visualizar o resultado através da Figura 5.



**Figura 5 - Visualização do tráfego na saída da interface serial 1/2 e 1/3 do PE1.**

É verificado que só há tráfego efetivo na interface Serial 1/2, pois o caminho escolhido pelo protocolo IS-IS foi PE1-P1-PE2, deixando os demais caminhos ociosos,

inclusive tendo perdas de pacotes quando o tráfego excede o limite permitido pela interface, o que pode ser visto através dos valores em azul no gráfico da Figura 5.

Em seguida, foram criados dois túneis explícitos (túnel 0 e túnel 1), conforme Figura 6, com banda de 100Kbps. O primeiro fazendo uso do caminho PE1-P1-PE2, e o segundo fazendo uso do caminho PE1-P2-PE2. Assim, foi percebido um balanceamento de carga que será efetuado entre os dois caminhos através da Figura 7.

Assim é percebido que a Engenharia de Tráfego habilita os ISPs a rotear o tráfego na rede, para oferecer melhor serviço aos usuários, em termos de taxa de transferência e atraso. Tornando o provedor mais eficiente, a Engenharia de Tráfego reduz o custo na rede, tendo como grande vantagem o melhor aproveitamento dos enlaces, nesse caso, transportando pacotes IPv6 através da arquitetura 6PE (Figura 7).

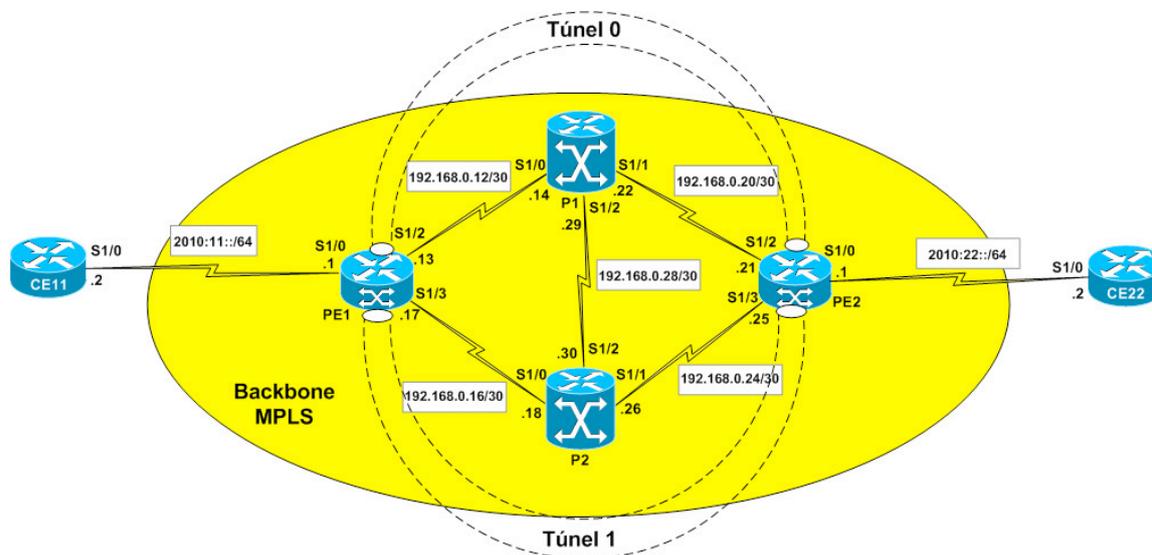


Figura 6 - Porção da Topologia Base para demonstração do MPLS-TE.

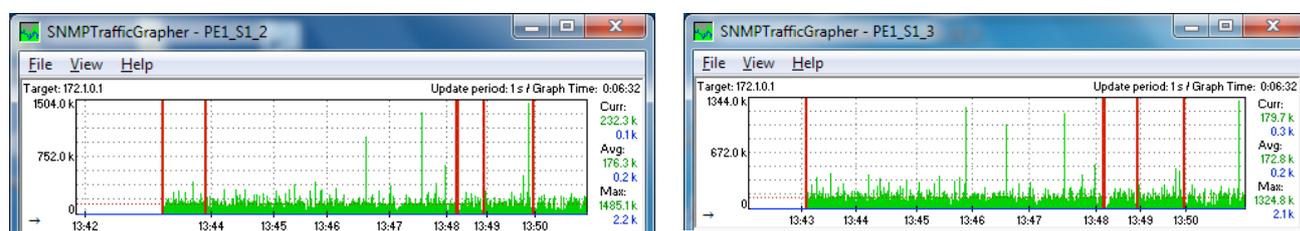


Figura 7 - Visualização do tráfego na saída das interfaces seriais 1/2 e 1/3 do PE1.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Com os estudos observou-se uma inovação tecnológica em relação às tecnologias antecessoras, possibilitando uma maior flexibilidade quando comparada com as soluções baseadas puramente em protocolo IP, surgindo como alternativa para

encaminhamento de pacotes, engenharia de tráfego, qualidade de serviços, VPNs, e possibilidade de integração entre redes heterogêneas.

Durante as pesquisas e simulações, foram estudadas as técnicas para migração IPv4-IPv6, e observado que a técnica 6PE realiza o suporte IPv6 estendendo apenas os PEs para tráfego IPv6 na rede MPLS, provendo conectividade para os clientes sem a necessidade de atualizar toda a rede para IPv6, com isso proporcionando um baixo impacto nessa rede, característica muito importante durante esse período de transição.

Através do processo de simulação, foi observado que o serviço de Engenharia de Tráfego representa uma forma de aproveitar melhor os recursos de rede existentes. Através da criação de túneis foi visualizado um melhor aproveitamento dos recursos de transmissões, permitindo assim uma maior convergência dos serviços e, assim, maior otimização na utilização dos recursos e economicidade para o governo.

Como trabalhos futuros, realizar um estudo mais aprofundado da Engenharia de Tráfego, fazendo uso de outras métricas, como os protocolos de roteamento para IPv6 (RIPng, OSPFv3 e BGP4+) entre CE e PE, elaborar testes com outras arquiteturas IPv6 e medir o seu desempenho, com IPv6, de diversos serviços, tais como: Videoconferência, Videostream, VoMPLS (Voz sobre MPLS) e MPLS-Multicast.

## 7. Referências

- De Ghein, Luc., (2007) “MPLS Fundamentals”, Cisco Press, 1<sup>th</sup> edition.
- Enne, Antonio José F. (2009), TCP/IP sobre MPLS. 1<sup>a</sup> edição.
- Lancy L. (2008) “MPLS Configuration on Cisco IOS Software”. Cisco Press, 1<sup>th</sup> edition.
- Lins, Dueire., Oliveira, José M. e Mendonça, Roberto. (2012), “Redes MPLS – Fundamentos e Aplicações”, Brasport, 1<sup>a</sup> edição.
- Lucek, Julian. and Minei, Ina. (2011) “MPLS - Enabled Applications: Emerging developments and new technologies”, Wiley, 3<sup>th</sup> edition.
- Osborne, Eric. and Simha, Ajay. (2000) “Traffic Engineering with MPLS”, Cisco Press, 1<sup>th</sup> edition.
- Pepelnjak, I. and Guichard J. (2000) “MPLS and VPN Architectures”, Indianapolis Cisco Press. 1<sup>th</sup> edition
- Santos, Rodrigo R. and Moreiras, Ailton S. (2009) “Curso de IPv6”, 1<sup>a</sup> edição. Comitê Gestor da Internet no Brasil.
- Tanenbaum, Andrew S. (2011) “Redes de Computadores”, Pearson, 5<sup>a</sup> edição
- \_\_\_DYNAMIPS (2013) Dynamips Router Emulator, [www.ipflow.utc.fr/index.php](http://www.ipflow.utc.fr/index.php), acesso em 27/03/2013
- \_\_\_SNMP Tool (2013) [http://www.wtcs.org/informant/free\\_snmp\\_tools.htm](http://www.wtcs.org/informant/free_snmp_tools.htm), acesso em 27/03/2013