

## **GESTÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES MAN UTILIZANDO TECNOLOGIA MPLS (Multi Protocol Label Switching)**

Fábio Renato Elias Boaventura  
Rodrigo Albino

### **RESUMO**

Este projeto investiga e fornece diversas técnicas ativas que proporcionam a qualidade de serviço, utilizando engenharia de tráfego de dados. Para isso, seguem duas linhas principais, sendo a primeira o estudo sobre o desenvolvimento de um mecanismo local de recuperação de pacotes que exigem qualidade de serviço (QoS-Quality of Service) Esse mecanismo permite que se recuperem dados perdidos ponto a ponto, em vez de extremo a extremo, impedindo que os protocolos de níveis superiores tomem a iniciativa no pedido de uma possível retransmissão, na qual, para casos específicos, o congestionamento em nós pode induzir a perda de pacotes prioritários. A segunda é o estudo sobre a criação de um mecanismo de recuperação local que permita, em caso de queda acidental de um enlace da topologia que afete uma rota de pacotes através da qual circula um fluxo preferencial, um caminho de comutação de rótulos (LSP-Label Switching Patch), que exige um nível de QoS, estabelecendo de forma adequada um caminho alternativo, cujas propriedades são semelhantes e, portanto, o tráfego prioritário pode ser reconduzido. A partir dessas abordagens do princípio de que o resultado deve respeitar um padrão definido pela força tarefa de engenharia da internet (IETF-Internet Engineering Task Force), o multiprotocolo de comutação de rótulos (MPLS-Multiprotocol Label Switching), concebidos em torno de um conjunto de técnicas e protocolos que ajudam a conseguir estes objetivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** LSP, MPLS, IETF, QoS.

### **1 INTRODUÇÃO**

As redes de comunicação desempenham um papel vital, tanto para empresas quanto para usuários finais, devido ao aumento do número de usuários e das aplicações online; assim, como a migração da telefonia tradicional para o voz sobre ip (VOIP-voice over ip), videochamadas, teletrabalho, ensino a distância e a computação em nuvem, que obrigaram os provedores de infraestruturas de rede realizar uma dura transformação para suprir as exigências de qualidade de serviço de telecomunicações da sociedade moderna.

Simultaneamente, o surgimento da tecnologia de comunicação óptica é capaz de gerenciar grandes volumes de informação, que necessitam de desenvolvimento de novos métodos de sinalização, novos protocolos de comunicação que permitam aproveitar toda a sua capacidade e que transformem a rede em uma entidade inteligente, bem como uma rede flexível que permita ser não somente uma mera entidade de transporte passivo de informação sem controle, mas também como um sistema de gestão de recursos e confiabilidade sobre a informação sobre a própria infraestrutura de rede. Uma rede parametrizável que cumpra o objetivo de reduzir os custos dos provedores de serviços de rede e unifique os tipos de tecnologias atualmente implantadas cuja manutenção é um problema tanto econômico como também impossível de oferecer serviços de banda larga com uma qualidade de serviço aceitável. Nesse cenário surgem ou reaparecem novas tecnologias como DWDM, ActiveNets, MPLS, GMPLS e SMA.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 O que é a engenharia de tráfego de dados?**

A engenharia de tráfego é a tarefa de realizar o mapeamento dos fluxos de tráfego em uma infraestrutura física de transporte, de modo a atender critérios definidos pela operação da rede. Ao ter como enfoque a otimização do desempenho da rede, em relação à aplicação de tecnologias e princípios científicos para a medição, modelação, caracterização e controle de tráfego da Internet, ela se torna um instrumento indispensável nos Sistemas Autônomos, devido ao alto custo de recursos de rede e por causa da natureza comercial e competitiva da Internet. Estes fatores enfatizam a necessidade de uma máxima eficiência operacional. A engenharia de tráfego procura maximizar o desempenho orientado a tráfego ou orientado a recursos. O conceito de engenharia de tráfego em MPLS se explica como as facilidades que este oferece para que um administrador de redes seja capaz de manipular rapidamente os caminhos por onde o tráfego passa. Isso tem muitas aplicações, por exemplo:

- Um problema com o enlace entre dois roteadores interrompe uma rota de tráfego.
- Um fluxo de dados muito pesado causando lentidão na

comunicação de extremidades da rede.

### **3 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é desenvolver através da ferramenta de simulação OpenSimMPLS a engenharia de tráfego de dados em redes MPLS demonstrando seu funcionamento e as vantagens da sua aplicação, citando exemplos e casos reais de seu uso, buscando realizar o estudo e experimento de uma infraestrutura de rede baseada em MPLS, utilizando-se como ponto de partida as tecnologias citadas e, mediante o uso de técnicas ativas, alcançar os benefícios do MPLS, fazer uma análise prévia das necessidades e dos problemas existentes. Demonstrar a solução de alguns dos problemas que aparecem no decorrer do desenvolvimento de um sistema com tais características quanto à gestão do tráfego e dos recursos, qualidade de serviço, disponibilidade da rede, recuperação diante de erros etc.

#### **3.1 Objetivo específico**

O objetivo final deste projeto é estabelecer uma base que permita planejar e desenvolver redes de área metropolitana (MAN) ou de longa distância (WAN), redes de alta capacidade, backbones, proporcionando qualidade de serviço (QoS) aos fluxos prioritários de informação e permitindo a recuperação de pacotes descartados nos caminhos em um ambiente local, evitando assim na medida do possível as retransmissões de ponta a ponta solicitadas pelo nível de transporte.

### **4 RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se que a ferramenta de simulação seja capaz de prover os recursos necessários e suportar o desenvolvimento dos modelos de solução de engenharia de tráfego usando MPLS, assim como suportar tráfegos com diferentes níveis de QoS, independente de uma plataforma proprietária de um único fabricante. Espera-se, também, que o trabalho estabeleça um modelo de solução para aplicação em qualquer plataforma de rede de grande capacidade.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Simulador Open SimMPLS

O Open SimMPLS está licenciado sob os termos da GNU General Public Licence V3.0[GNU GPL] da Free Software Foundation (FSF), sendo considerado programa livre de código aberto pela Open Source Initiative(OSI). Foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação JAVA, que torna possível sua execução em qualquer sistema operacional que possui ambiente gráfico e suporte a execução de aplicativos Java baseados na versão Java 2 Standard Edition (J2SE).

A adoção do Open SimMPLS seguiu critérios que ajudaram na seleção da ferramenta de simulação, que são:

- Licença gratuita, de acordo com GNU-GPL da FSF;
- Sistema multiplataforma, podendo ser executado em qualquer sistema operacional com suporte a J2SE (Microsoft Windows®, Linux, MacOS®, Free BSD, etc);
- Portabilidade do software, não sendo necessária a instalação dele no computador, podendo ser executado a partir de um *pendrive* ou de uma unidade de disco removível;
- Suporte à implementação de QoS dentro do ambiente de simulação, seguindo as regras da RFC 3031, RFC 2474 e RFC 2475;
- Suporte a implementação de engenharia de tráfego segundo os modelos MATE;
- Ajuste de parâmetros de configuração de dispositivos e enlaces através da interface gráfica, dispensando o conhecimento de uma linguagem de programação ou comandos de configuração de uma plataforma específica de qualquer fabricante;
- Geração de relatórios dentro do próprio programa, dispensando a utilização de qualquer ferramenta para extração dos dados obtidos dentro do ambiente de simulação.

Serão mostradas aqui as informações básicas sobre o funcionamento do simulador, a fim de servir de base para o entendimento mínimo sobre a ferramenta de simulação, seus ajustes e suas propriedades, não se pretendendo descrever

minuciosamente o programa ou seu desenvolvimento, devendo ser consultado o manual de referência para informações mais detalhadas sobre o programa.

## 7 RESULTADO E DISCUSSÕES

### 7.1 Cenário 1- Recuperação de pacotes localmente.

O objetivo da simulação deste cenário é demonstrar a recuperação de pacotes perdidos localmente, evitando a retransmissão de pacotes fim a fim, economizando recursos de infraestrutura e processamento.

A simulação inicia-se com dois geradores de tráfego, um deles com requisitos de QoS (Araçatuba) e outro sem nenhum requisito (Birigui), ambos com o mesmo destino. Ao passarem por nós passivos ou sem perda de pacotes, ambos os tráfegos percorrem o mesmo LSP (Bauru - São Paulo) como pode ser visto na figura 1. Ao chegar a um nó de rede congestionado (São Paulo), ocorre o descarte dos pacotes; então, o nó congestionado solicita a retransmissão dos pacotes com QoS armazenados na memória de pacotes com requisito de QoS (DMGP- Dynamic Memory For Gos PDU) do último nó ativo por onde este pacote passou antes de ser descartado pelo nó congestionado, pois os pacotes sem QoS não são armazenados na DMGP dos nós ativos.

Figura 1-Cenário 1 Recuperação de Pacotes

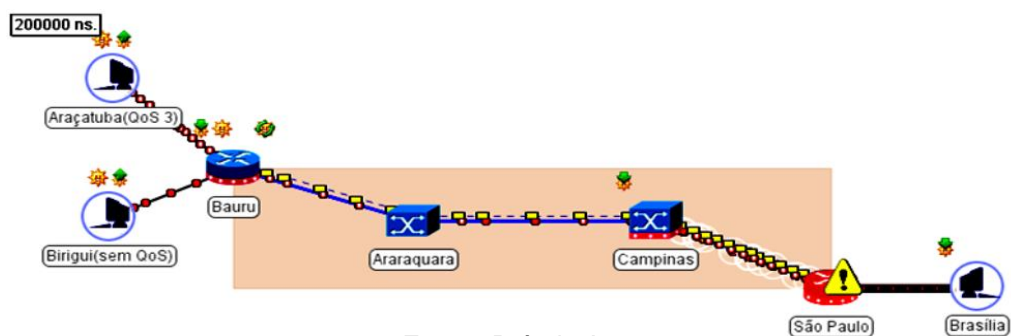


Tabela 1-Dados dos comutadores e roteadores do cenário 1

COMUTADORES/ROTEADORES			
NOME	CAPACIDADE DE COMUTAÇÃO (bits/s)	TAMANHO DO BUFFER (Megabytes)	TAMANHO DA DMGP (Kilobytes)
BAURU	10 G	100	1024
ARARAQUARA	10 G	5	NÃO POSSUI
CAMPINAS	10 G	6	100
SÃO PAULO	6 G	1	10240

Fonte: Próprio Autor

Tabela 2-Dados dos Emissores do cenário 1

EMISSORES						
NOME	CAPACIDADE GERADORA	TIPO DE TRÂFEGO	CARGA UTIL POR PACOTE	ENCAPSULADO EM MPLS	NIVEL DE QoS	LSP BACKUP
ARAÇATUBA	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	3	NÃO
BIRIGUI	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	-	NÃO

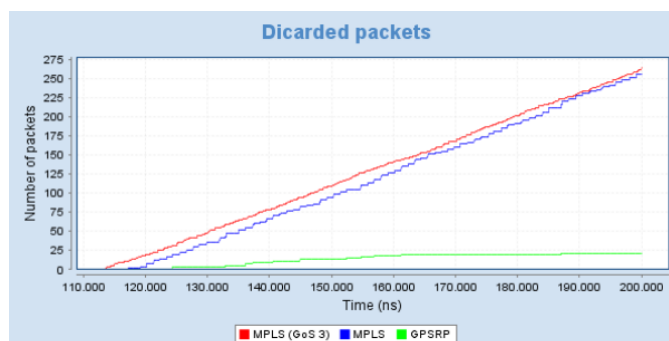
Fonte: Próprio Autor

Neste ambiente de simulação os receptores são considerados ideais, não sendo necessária a configuração destes.

O tempo de simulação configurado aqui é de 200.000 ns com passos de 100 ns, sendo estes valores aplicados a todos os demais cenários.

O foco desta simulação é provar a recuperação de pacotes perdidos em um nó congestionado (São Paulo), como se pode ver na figura 2.

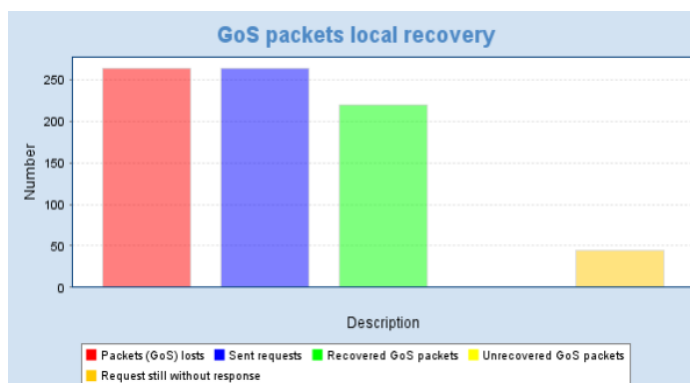
Figura 2-Pacotes descartados devido ao congestionamento em um nó de red



Fonte: Próprio Autor

Através do protocolo de gravação e retransmissão de pacotes com requisitos de QoS (GPSRP- GoS PDU Store and Retransmit Protocol) o nó congestionado solicita a retransmissão local através da recuperação dos pacotes armazenados na memória DMGP do último nó ativo que o pacote passou antes de ser descartado, que pode ser vista na figura 3. Esta recuperação pode ser solicitada a outros nós ativos da rede, caso o último nó não possua uma cópia do pacote do qual se solicitou a retransmissão, e caso estes não o tenham, é solicitada a retransmissão através de protocolos superiores ao emissor, mas a recuperação destes pacotes localmente é plena, ultrapassando 90%.

**Figura 3-Recuperação de pacotes QoS através da retransmissão do último nó ativo**



Fonte: Próprio Autor

O tempo de recuperação é relativamente menor, como se pode ver na tabela 4, comparado com o mesmo processo ocorrendo em uma rede IP, onde todas as retransmissões são feitas fim a fim, não havendo recuperação de pacotes localmente, como pode ser visto na tabela 5.

**Tabela 3-Tempo gasto para transmissão com recuperação local MPLS**

TEMPO GASTO PARA TRANSMISSÃO COM RECUPERAÇÃO LOCAL MPLS		
PERCURSO	STATUS	RETARDO
ARAÇATUBA→BAURU	TRANSMISSÃO	3000 ns
BAURU→ARARAQUARA→	TRANSMISSÃO	1000 ns
ARARAQUARA→CAMPINAS→	TRANSMISSÃO	1000 ns
CAMPINAS→SÃO PAULO→	TRANSMISSÃO	3000 ns
SÃO PAULO→CAMPINAS→	PEDIDO DE RETRANSMISSÃO	3000 ns
CAMPINAS→SÃO PAULO→	RETRANSMISSÃO	3000 ns
SÃO PAULO→BRASILIA	TRANSMISSÃO	60000 ns
TEMPO TOTAL GASTO		74000 ns

Fonte: Próprio Autor

**Tabela 4-Tempo de transmissão com recuperação fim a fim IP**

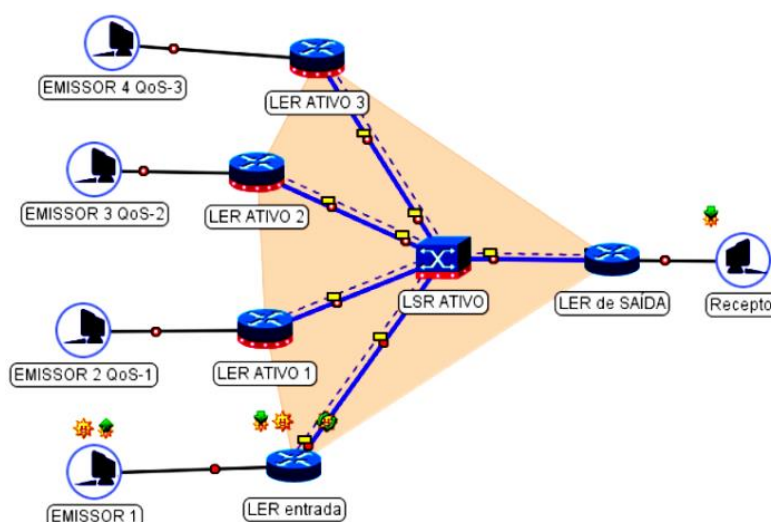
TEMPO DE TRANSMISSÃO COM RECUPERAÇÃO FIM A FIM IP		
PERCURSO	STATUS	RETARDO
ARAÇATUBA→BRASILIA→	TRANSMISSÃO	68000 ns
BRASILIA→ARAÇATUBA→	PEDIDO DE RETRANSMISSÃO	68000 ns
ARAÇATUBA→BRASILIA→	RETRANSMISSÃO	68000 ns
TEMPO TOTAL GAST		204000

Fonte: Próprio Autor

## 7.2 Cenário 2-Priorização de Tráfego

A simulação se inicia com quatro geradores de tráfego, cada um com um requisito de QoS diferente, encaminhados para o mesmo destino, como se vê na figura 4. Todos os enlaces deste cenário possuem as mesmas características, como se pode ver na tabela 6, pois o objetivo é demonstrar o tratamento diferenciado de acordo com os requisitos de QoS e não de acordo com a sua chegada ao nó, o que ocorre em uma rede com pacotes IP.

Figura 4-Tráfegos com diferentes requisitos de QoS



Fonte: Próprio Autor

Tabela 5-Dados dos enlaces do cenário 2

ENLACES		
ORIGEM	DESTINO	RETARDO (ns)
LER DE ENTRADA	LSR ATIVO	1000
LER ATIVO 1	LSR ATIVO	1000
LER ATIVO 2	LSR ATIVO	1000
LER ATIVO 3	LSR ATIVO	1000
LSR ATIVO	LER DE SAIDA	1000

Fonte: Próprio Autor

Cada emissor é conectado a um nó de entrada na rede (LER), sendo que os emissores com requisitos de QoS diferentes, como se pode ver na tabela 7, são ligados a nós ativos (LERA) e os emissores sem requisitos de QoS são ligados a nós passivos (LER), como se pode ver na tabela 8. Isto é necessário para que cada pacote receba um rotulo indicando o requisito de QoS ao entrar na rede; caso contrário, será tratado como um pacote MPLS sem QoS.



Tabela 7-Dados dos emissores do cenário 2

EMISSORES						
NOME	CAPACIDADE GERADORA	TIPO DE TRÁFEGO	CARGA ÚTIL POR PACOTE	ENCAPSULADO EM MPLS	NÍVEL DE QoS	LSP BACKUP
EMISSOR 1	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	-	NÃO
EMISSOR 2	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	1	NÃO
EMISSOR 3	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	2	NÃO
EMISSOR 4	10 Gbps	CONSTANTE	100 bytes	NÃO	3	NÃO

Fonte: Próprio Autor

Tabela 8-Dados dos comutadores e roteadores do cenário 2

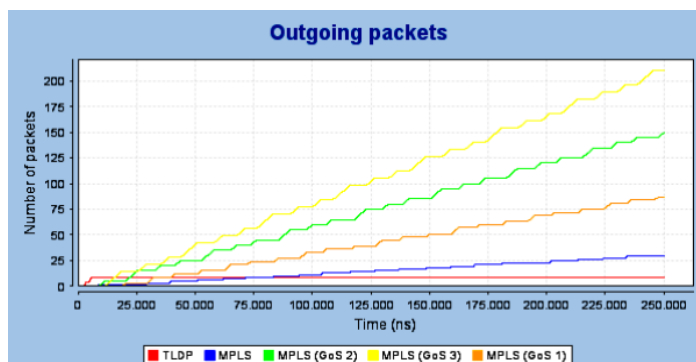
MUTADORES/ROTEADORES			
NOME	CAPACIDADE DE COMUTAÇÃO	TAMANHO DO BUFFER	TAMANHO DA DMGP
LER DE ENTRADA	10 Gbps	5 Megabytes	NÃO POSSUI
LER ATIVO 1	10 Gbps	5 Megabytes	1024 Kilobytes
LER ATIVO 2	10 Gbps	5 Megabytes	1024 Kilobytes
LER ATIVO 3	10 Gbps	5 Megabytes	1024 Kilobytes
LSR ATIVO	10 Gbps	100 Megabytes	10240 Kilobytes
LER DE SAÍDA	10 Gbps	5 Megabytes	NÃO POSSUI

Fonte: Próprio Autor

Todos os tráfegos chegam a um nó de comutação ativo (LSRA), que encaminha cada pacote de acordo com seu requisito de QoS.

O tráfego que chega ao LSRA é encaminhado de acordo com seu requisito de QoS, sendo encaminhado primeiro o pacote que possui maior prioridade de tráfego (maior requisito QoS), como se pode ver na figura 5.

Figura 5-Tráfego de saída o LSRA, priorizando os pacotes conforme seu requisito de QoS

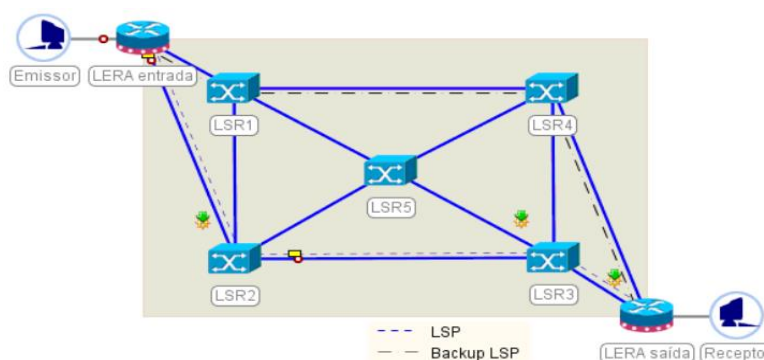


Fonte: Próprio Autor

### 7.3 Cenário 3 - Recuperação de rotas

O objetivo deste cenário de simulação é demonstrar a recuperação de rotas de transmissão através de estabelecimento de um novo LSP cujas características sejam semelhantes às do LSP interrompido para a continuidade da transmissão de dados, como se vê na figura 6.

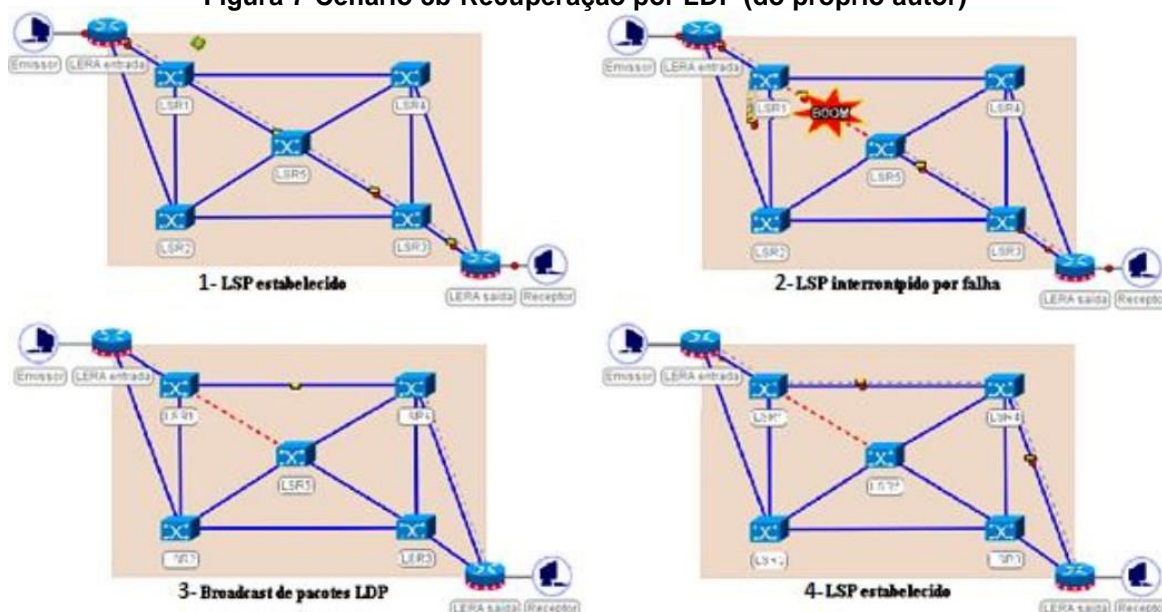
**Figura 6-Cenário 3a-Recuperação de rota por LSP reserva**



**Fonte:** Próprio Autor

A figura 7 mostra o cenário 3b, onde é estabelecido um LSP para o tráfego de dados sem o LSP reserva, ficando a recuperação em caso de interrupção por conta do protocolo LD que, em caso de falha, procura um novo caminho para o tráfego através de broadcast de solicitações de caminho para todos os nós da rede.

**Figura 7-Cenário 3b-Recuperação por LDP (do próprio autor)**



**Fonte:** Próprio Autor

Em ambos os casos, têm-se vantagens e desvantagens. Pode ser visto na tabela 16, que, no caso de determinação de LSP reserva, o tempo de recuperação pode ser menor, mas os recursos alocados ficam ociosos; enquanto que, no caso de estabelecimento de um novo LSP através de LDP, o tempo de recuperação é maior, mas os recursos da rede ficam disponíveis para outros tráfegos.

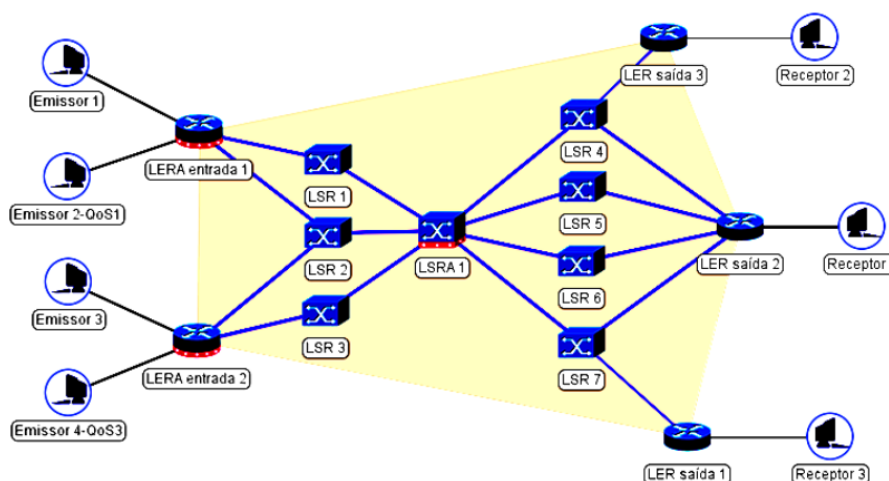
## 7.4 Cenário 4 - Distribuição de tráfego com balanceamento de carga em múltiplos caminhos

O objetivo deste cenário de simulação é demonstrar a distribuição e balanceamento de carga em redes com múltiplos tráfegos com mesmo destino através de múltiplos caminhos (MPLS Adaptive Traffic Engineering-MATE).

Neste cenário também será vista a priorização de tráfego com requisitos de QoS, onde recursos da rede são alocados para atender exclusivamente este tráfego, estabelecendo caminhos privilegiados para este e caminhos diferentes para tráfego sem QoS. Isso é possível devido à utilização de algoritmos que estabelecem as regras de roteamento balanceado do tráfego na rede.

Na figura 8 pode ser visto o cenário 4, onde 4 emissores, sendo 2 deles sem requisitos de QoS e outros dois com requisitos de QoS diferentes entre si, ambos interligados a nós de entrada ativos, gerando tráfegos com o mesmo destino, o receptor 1. Todos estes tráfegos passam por um nó de rede ativo (LSRA 1) que faz o balanceamento do tráfego com mesmo destino entre vários troncos paralelos, utilizando troncos para tráfegos com QoS e troncos para tráfego sem QoS, com o objetivo de não sobrecarregar uma parte da rede, mas distribuir por toda ela o tráfego.

**Figura 8- Cenário 4 - Balanceamento de carga de tráfego em múltiplos caminhos**

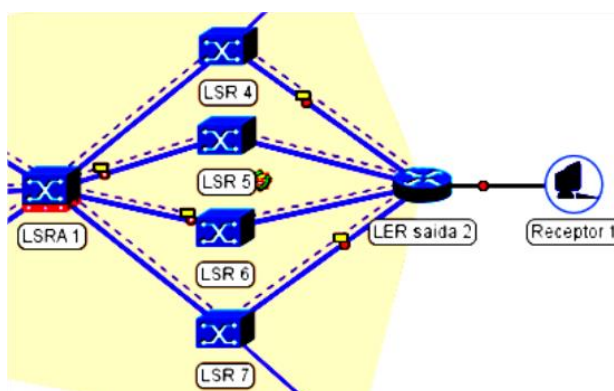


**Fonte:** Próprio Autor

Todo o tráfego passa por um nó de rede ativo LSRA1 que, devido a algoritmos de redes ativas balanceadas (RABAN- Routing Algorithm for Balanced Active Networks), consegue distribuir entre os quatro troncos paralelos entre ele e o LER de saída 2, que

leva todo o tráfego até o seu destino, o receptor 1. Ele estabelece a alocação destes recursos de acordo com o volume e a prioridade de tráfego; e, neste caso, foi estabelecido um tronco para tráfego QoS nível 3 que passa pelo LSR5, um tronco para tráfego QoS nível 1 que passa pelo LSR6, e os outros dois troncos foram alocados para o tráfego sem QoS que passam pelo LSR7 e pelo LSR4, que tem um volume maior de pacotes a transportar, pois os emissores 1 e 3 geram o mesmo tipo de tráfego, como se pode ver na figura 9.

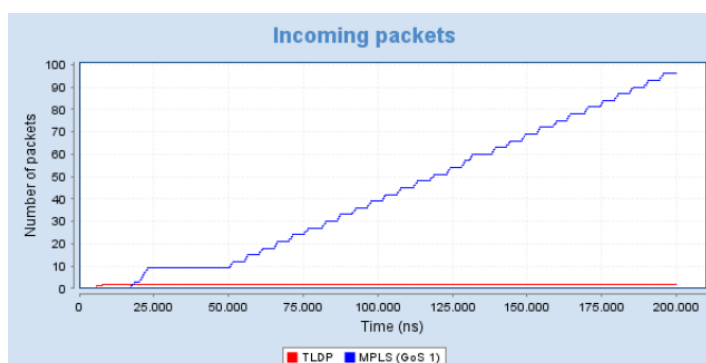
**Figura 9-Balanceamento de carga de troncos paralelos baseados em QoS e volume de tráfego**



**Fonte:** Próprio Autor

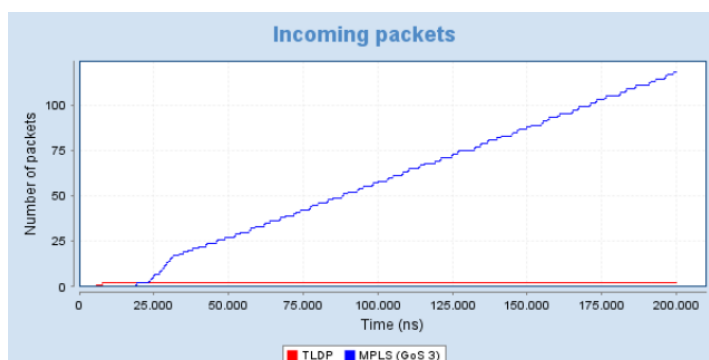
A análise estatística dos tráfegos transportados por estes troncos mostra esta distribuição de carga, como se pode ver nas figuras 10, 11, 12 e 13.

**Figura 10-Tráfego transportado pelo tronco do LSR4 (do próprio autor)**



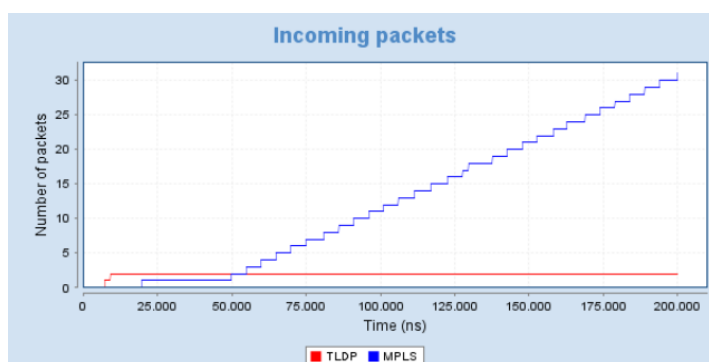
**Fonte:** Próprio Autor

Figura 11-Tráfego transportado pelo tronco do LSR5 (do próprio autor)



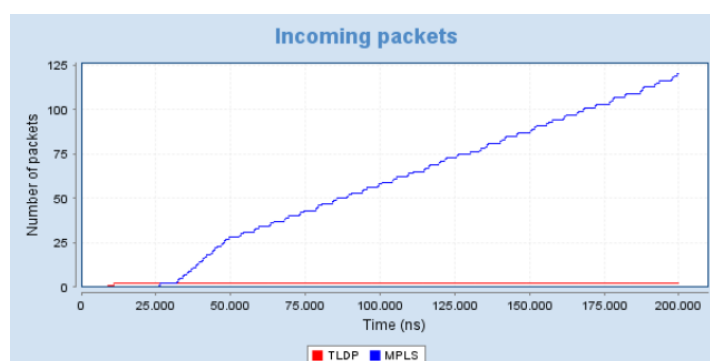
Fonte: Próprio Autor

Figura 12-Tráfego transportado pelo tronco do LSR6 (do próprio autor)



Fonte: Próprio Autor

Figura 13-Tráfego transportado pelo tronco do LSR7



Fonte: Próprio Autor

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software livre de simulação OpenSimMPLS apresentado no trabalho foi desenvolvido com o objetivo e demonstrar todos os recursos do MPLS, bem como permitir a criação de protótipos de modelos de redes deste padrão e assim foi feito.

A ferramenta de simulação permitiu provar os modelos teóricos de otimização de recursos através da engenharia de tráfego vistos no desenvolvimento, como foi demonstrado através dos vários cenários desenvolvidos neste trabalho, permitindo visualizar de maneira prática e direta os resultados do estudo realizado neste trabalho, sendo estes:

- Recuperação de pacotes de dados com requisitos de qualidade de serviço localmente para evitar retransmissão fim a fim, como se pode ver no cenário 1;
- Priorização de tráfegos que exigem qualidade de serviço do tipo multimídia, como se pode ver no cenário 2;
- Recuperação de rotas através de restabelecimento automático por caminhos alternativos, como se pode ver no cenário 3;
- Balanceamento de carga na distribuição do tráfego de acordo com seus requisitos de qualidade de serviço para evitar o colapso da rede, como se pode ver no cenário 4.

Portanto, a robustez e a grande variedade de recursos desta tecnologia, o MPLS, permitem o estabelecimento de um modelo de otimização de recursos de redes de grande porte através da utilização de parâmetros do MPLS e da engenharia de tráfego de dados, atingindo o objetivo principal deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

DORADO, M. D.; SÁNCHEZ, J. L.; MURILLO, J. C. **Suporte de Garantia de Serviço (GOS) sobre MPLS mediante técnicas activas**. [S.l.]: [s.n.], 2013. 1 v. Disponível em: [https://www.manolodominguez.com/wp-content/uploads/2016/10/20161009-M\\_Dominguez\\_DoradoSoporteDeGarantiaDeServicioGoSSobreMPLSMedianteTecnicaActivas.pdf](https://www.manolodominguez.com/wp-content/uploads/2016/10/20161009-M_Dominguez_DoradoSoporteDeGarantiaDeServicioGoSSobreMPLSMedianteTecnicaActivas.pdf). Acesso em: 21 ago. 2023.

DORADO, M. D.; SÁNCHEZ, J. L.; CERVERO, A. G.; PÉREZ, F. R. **Multiplatform and Opensource GoS/MPLS Simulator**. ISBN: 84-690-0726-2. [S.l.]: [s.n.], 2006. Disponível em: [https://www.manolodominguez.com/wp-content/uploads/2016/10/20161014-M\\_Dominguez\\_Dorado-EMSS2006.pdf](https://www.manolodominguez.com/wp-content/uploads/2016/10/20161014-M_Dominguez_Dorado-EMSS2006.pdf). Acesso em: 21 ago. 2023.

INÁCIO, F. C. **MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING**. Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/grad/02\\_1/mpls/](http://www.gta.ufrj.br/grad/02_1/mpls/). Acesso em: 27 ago. 2023.