

# ROTEAMENTO DE TRÁFEGO BASEADO EM RESTRIÇÕES EM REDES MPLS

Raulison Alves Resende, Akebo Yamakami

Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
Departamento de Telemática  
{raulison, akebo}@dt.fee.unicamp.br

## RESUMO

Os administradores de rede têm como preocupação a otimização de recursos além de prover QoS (*Quality of Service*) aos seus usuários. Neste artigo é apresentada uma proposta de roteamento de tráfego baseado em restrições em redes MPLS (*MultiProtocol Label Switching*). A proposta baseia-se na representação da rede MPLS através de grafo, sobre a qual implementou-se um algoritmo que procura minimizar as perdas de pacotes, baseado na seleção de rotas menos congestionadas no ingresso. O algoritmo proposto foi simulado numa rede exemplos utilizando a ferramenta NS-2 (*Network Simulator*) e os resultados são analisados e comparados.

**Palavras-chave:** MPLS, Engenharia de Tráfego, Roteamento Explícito, Roteamento Baseado em Restrições, Network Simulator.

## ABSTRACT

Besides providing QoS (*Quality of Service*) to their users, the network administrators are concerned about the optimisation of network resources. In this paper it is presented a proposal of traffic routing based on restrictions in MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) networks. The proposal is based on the modelling of MPLS networks through graphs. Based on this modelling, it was implemented an algorithm that seeks to minimise the package losses based in the selection of less congested paths for traffic insertion. The proposed algorithm was simulated on an example network by the use of NS-2 tool. We analyse and compare the obtained results.

---

## 1 – INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da Internet apresenta vários desafios para as redes IP (*Internet Protocol*).

As novas aplicações requerem serviços cujas características específicas devem ser garantidas ao longo de todo trajeto em que os dados da aplicação passarão. O principal desafio hoje para as redes IP é fornecer um serviço próximo do determinístico já que ela não é.

Os IGP's (*Interior Gateway Protocol*) disponíveis na Internet apresentam uma capacidade de controle inadequada para engenharia de tráfego, pois se baseiam nos algoritmos de menor caminho. Estes algoritmos geralmente utilizam uma métrica aditiva simples. Uma vez que estes protocolos são dirigidos à topologia, as disponibilidades de largura de banda e características de tráfego não são levadas em consideração na

tomada de decisões de roteamento. Estes fatos podem contribuir de forma significativa no agravamento de congestionamentos.

O MPLS [1], pode explorar completamente as vantagens das tecnologias IP [2], ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) [3] e Frame Relay [4] além de reforçar as características QoS, através do gerenciamento de recursos e controle de tráfego [5], ao mesmo tempo que mantém a flexibilidade da rede de pacotes.

As empresas e centros de pesquisas estão muito interessados neste protocolo [6 - 10] pela sua possibilidade em amenizar o congestionamento da Internet ao prover engenharia de tráfego [11], [12].

O objetivo deste artigo é mostrar a estrutura e os componentes do MPLS, comprovar a funcionalidade e robustez do roteamento explícito que habilita a técnica de roteamento baseado em restrições [13], visando minimizar a má utilização dos recursos da rede.

O artigo está dividido em cinco seções: II - objetivos da engenharia de tráfego, III – análise do roteamento baseado em restrições, IV - modelo do sistema simulado, V - apresentação dos resultados e, por último, VI - conclusões.

## 2 - ENGENHARIA DE TRÁFEGO

O congestionamento na rede pode ocorrer por duas razões: 1) Falta de recursos da rede ou 2) Distribuição desigual do tráfego.

Pode-se solucionar a primeira opção fornecendo mais recursos, promovendo nova infraestrutura. Já no segundo caso, algumas partes da rede estão sobrecarregadas e outras não. Esta distribuição desigual do tráfego em redes IP pode ser causada pelos protocolos de distribuição como: o RIP (*Routing Information Protocol*), OSPF (*Open Shortest Path First*), e IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*), que selecionam sempre os trajetos mais curtos para enviar pacotes.

A Engenharia de tráfego tem como objetivo otimizar a utilização dos recursos da rede e as características do tráfego. A sua função é distribuir o tráfego entre os caminhos, de tal forma a obter boa vazão nos links, nos roteadores e nos switches da rede.

## 3 - ROTEAMENTO BASEADO EM RESTRIÇÕES

Roteamento baseado em restrição é a ferramenta principal para automatizar o processo de engenharia de tráfego que é útil para evitar congestionamentos e prover uma suave degradação de desempenho no caso de congestionamento.

Este método é usado para computar rotas que são sujeitas a múltiplas restrições, representando uma evolução do esquema denominado roteamento para QoS [13]. Devido à necessidade de

qualidade de serviço para um fluxo ou uma agregação de fluxos, este mecanismo de roteamento busca a rota mais adequada para atender ao serviço.

As metas do roteamento baseado na origem são:

- Selecionar rotas que possam atender um dado requisito de QoS.
- Aumentar a utilização da rede.

Para alcançar estes objetivos, considera os requisitos topológicos da rede, os requisitos de fluxo, disponibilidade de recursos nos enlaces e outras políticas especificadas pelos administradores da rede. É possível, portanto que este método selecione um caminho mais longo, porém descongestionado, que um caminho curto, com tráfego comprometido pelo congestionamento.

As questões centrais do roteamento baseado em restrições são: a divulgação das informações de estado de enlace, a seleção de métricas e algoritmos de computação de rotas.

#### 4 - ALGORITMO

Foi adotado como principal objetivo minimizar a perda de pacotes em um domínio MPLS com alto tráfego. Para isso, estabelece um procedimento: selecionar uma rota não congestionada para a aplicação que vai ingressar na rede.

Foi adotado o modelo de grafo para representar a rede,  $G(N,L)$  onde  $N = \{n\}$  representa os pontos de roteamento e  $L = \{l\}$  representa os links entre os nós de roteamento.

Na implementação, o algoritmo foi composto de três blocos: bloco de atualização, bloco de roteamento e, finalmente, bloco de roteamento explícito.

O bloco de atualização tem como objetivo atualizar os estados da rede, utilizando as informações através do tráfego da rede e do tráfego que solicita ingresso. Este procedimento é feito utilizando uma expressão do tipo:

$$C_l^{i+1} = C_l^i * f(\alpha_l, PB_l^i, CT_l^i) \text{ onde:}$$

- $C_l^i$  é o custo associado ao arco  $l$  no instante  $i$
- $f$  é uma função de atualização do custo que tem como finalidade, penalizar os links com tráfegos sobrecarregados.
- $PB_l^i$  é a quantidade de pacotes no buffer que alimenta o link  $l$  no instante  $i$  em bytes
- $CT_l^i$  é a Capacidade do link  $l$  em bytes
- $\alpha \in \mathcal{R}$  é fator de calibração da função de atualização.

A frequência de atualização dos estados da rede é uma variável que pode ser adaptado para cada caso.

O segundo bloco é responsável pelo estabelecimento do LSP entre uma origem e um destino, na situação: quando ocorre uma requisição de conexão. Foi adotado o algoritmo de Dijkstra [15] na determinação do caminho mínimo.

Finalmente, o terceiro bloco aloca explicitamente a nova rota para a conexão estudada no segundo bloco, armazenando informações para serem utilizadas na engenharia de tráfego.

### 5 – SIMULAÇÃO

A topologia usada na simulação é a da figura 1. A escolha da topologia foi baseada na tentativa de se aproximar de um cenário onde fosse possível aplicar a técnica de roteamento baseado em restrições e comprovar sua funcionalidade.

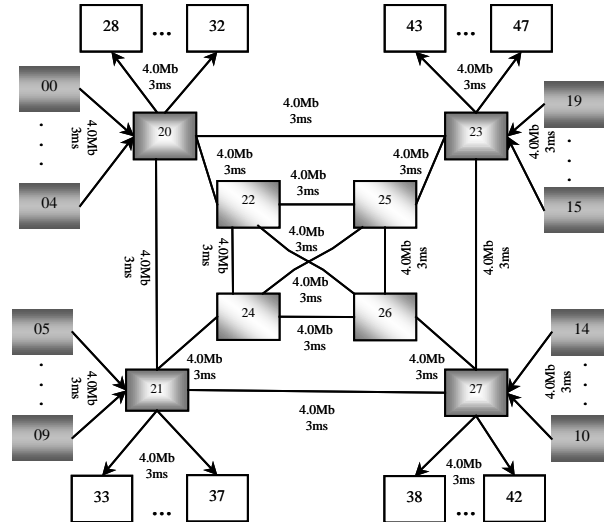


Figura 1 - Topologia da rede simulada

Para isso, foram utilizados fontes do tipo CBR (*Constant Bit Rate*) e VBR (*Variable Bit Rate*). Para permitir a comunicação entre os hosts de origem e destino, utilizou-se o protocolo fim a fim, UDP (*User Datagram Protocol*). Os fluxos partiram dos nós 00 - 19 com destino aos 28 - 47 respeitando a ordem apresentada na tabela 1.

Aplicação	<origem,destino>
CBR	<00,42> <01,38> <02,41> <03,47> <05,40>
	<06,32> <07,46> <09,44> <12,31> <17,29>
	<19,36>
VBR	<04,33> <08,39> <10,35> <11,34> <14,45>
	<13,43> <15,28> <16,30> <18,37>

Tabela 1: Tráfego da rede simulada

Os LERs (*Label Edge Router*) são 20, 21, 27 e 23 e os LSRs (*Label Switched Path*) são 22, 24, 25 e 26. Todos os links obedecem o mesmo dimensionamento, 4.0Mb com 3ms de tempo de propagação e filas do tipo FIFO (*First In First Out*). As fontes de tráfego transmitiram a uma taxa de 1.0 Mbps com pacotes de 1000bytes. Foi adotado 10min como tempo total de simulação, onde a primeira aplicação é inicializada no instante 0.42seg e a última em 6.72min. Para configurar esta topologia e validar o estudo, utilizou-se a ferramenta NS-2 (*Network Simulator*) [14].

Neste trabalho adotou-se:

$$f(\alpha_l, PB_l^i, CT_l^i) = \exp\left(\alpha \left(\frac{PB_l^i}{CT_l^i}\right)\right).$$

Uma amostra do comportamento desta função pode ser vista na figura 2.

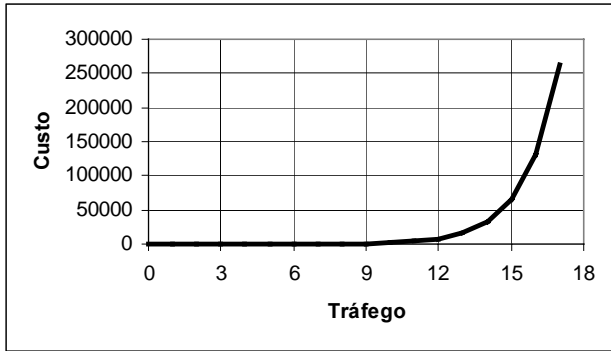


Figura 2 - Custo em função do tráfego gerado pela função custo

Constatou-se que um balanceamento de tráfego inadequado pode gerar uma sobrecarga no link. A figura 3 mostra esta situação, com um link sobrecarregado. Neste estudo comprovou-se que o método SPF ocasionou um número grande de perdas de pacotes. O método proposto manteve-se constante em todos os links, sem nenhuma perda de pacotes.

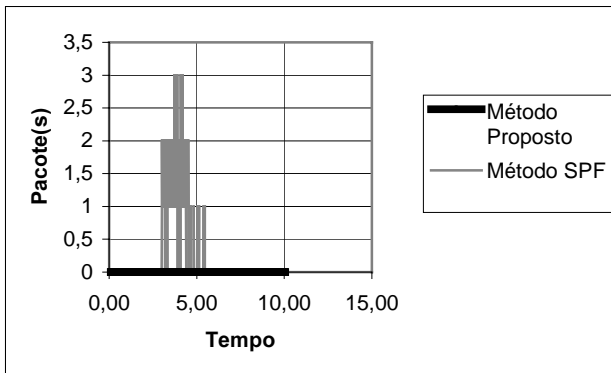


Figura 3 – Pacotes perdidos no Link2127 devido a sua sobrecarga ocasionada pelo Método SPF.

Na figura 4, é apresentada a quantidade geral de pacotes recebidos nos nós receptores, no cenário simulado.

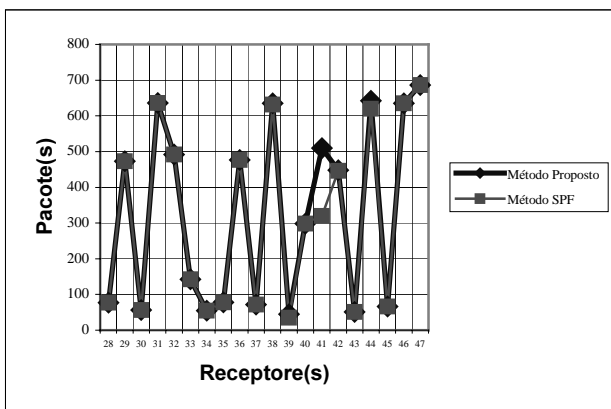


Figura 4 – Quantidade geral de pacotes recebidos nos nós receptores.

A figura 5 mostra o número de pacotes recebidos pelo nó 39. Observa-se que este nó foi penalizado quando seu fluxo de dados foi mapeado sobre o link2127 congestionado. A quantidade de

pacotes que o nó deixou de receber compromete qualquer classe de serviço.

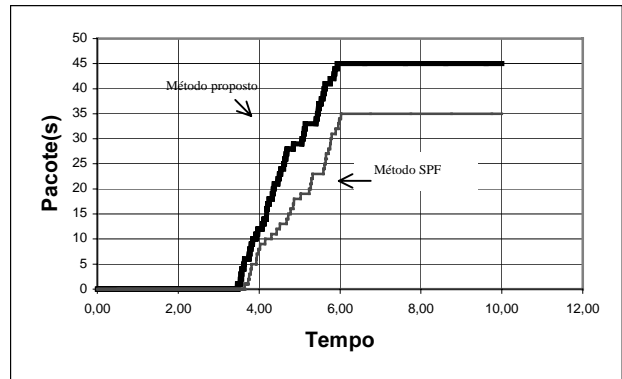


Figura 5 – Número de pacotes recebidos pelo nó 39.

Para um grupo de aplicações não basta receber todos os pacotes transmitidos é necessário um sincronismo para compreender a informação. A figura 6 mostra que o Método SPF pode ter comprometido a legibilidade dos dados transmitidos para o nó 42 devido à variação da taxa de perdas no decorrer do serviço.

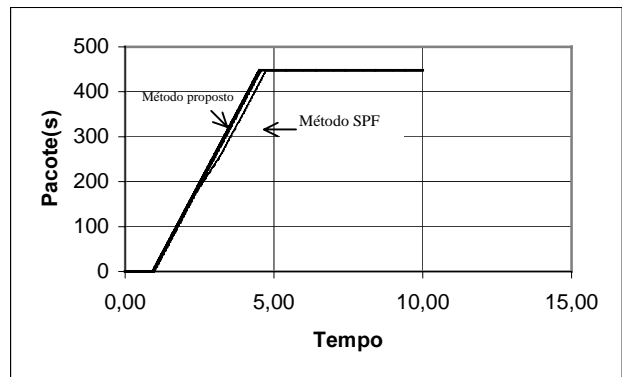


Figura 6 - Número de pacotes recebidos pelo nó 42.

Na soma geral (figura 7) dos pacotes recebidos o método aqui proposto não apresentou perda comparada com o SPF.

## 6 – CONCLUSÃO

Foi proposto um algoritmo para aplicação da engenharia de tráfego em redes MPLS. Mais especificamente foi proposto um algoritmo que procura selecionar as rotas menos congestionadas nos eventos de solicitação de conexão.

Os resultados de simulações, utilizando a ferramenta NS-2, mostraram que o algoritmo proposto tem um excelente comportamento (figura 7), dentro do enfoque de engenharia de tráfego, na direção de otimizar os recursos da rede e de manter as qualidades de serviço.

Diversos trabalhos ainda podem ser feitos para aperfeiçoamento do procedimento proposto e, dentre eles podemos destacar:

- Testar o algoritmo mais exaustivamente, considerando diferentes tipos de fontes;
- Incluir características preditivas quanto à engenharia de tráfego, através de informações estatísticas de rede

e de tráfegos, com inclusão de medidas de probabilidades de perdas.

- Introdução de medição estatística de atrasos de transmissão baseadas nos estados da rede, com conseqüente procedimento de decisão envolvendo perdas de pacotes versus atraso de transmissão.

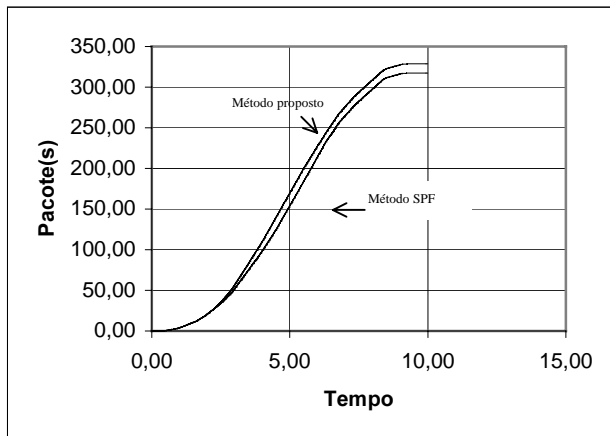


Figura 7 – Média geral de pacotes recebidos pelo Método proposto e Método SPF.

## 7 – REFERÊNCIAS

[1] - E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture" RFC3031, January 2001.

[2] - M. Suzuki "The Assignment of the Information Field and Protocol Identifier in the Q.2941 Generic Identifier and Q.2957 User-to-user Signaling for the Internet Protocol", RFC3033, January 2001.

[3] - B. Davie, J. Lawrence, K. McCloghrie, E. Rosen, G. Swallow, Y. Rekhter, P. Doolan "MPLS using LDP and ATM VC Switching", RFC3035, January 2001.

[4] - A. Conta, P. Doolan, A. Malis "Use of Label Switching on Frame Relay Networks Specification", RFC3034, January 2001.

[5] - D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS", RFC2702, September 1999.

[6] - Awduche, D. O., MPLS and Traffic Engineering in IP Networks, IEEE Communications Magazine, December 1999.

[7] - "Multiprotocol Label Switching" - Website: <http://www.futsoft.com>

[8] - "Multiprotocol Label Switching Overview" - Website: <http://www.cisco.com>

[9] - "Multiprotocol Label Switching" - Website: <http://www.juniper.net>

[10] - "AT&T Frame Relay and ATM Services" - Website: <http://www.att.com/data>

[11] - Indra Widjaja, Anwar Elwalid "MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering", Internet Draft draft-widjaja-mpls-mate-01.txt, work in progress, October 1999

[12] - T. Li, Y. Rekhter, "A Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE)" RFC2430, October 1998.

[13] - X. Xiao et. al., "Internet Qos: A Big Picture" IEEE Network, March/April 1999, pp. 8-18

[14] - Network Simulator NS-2 - Website: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

[15] - Ahuja, R.K.; Magnati, T.L.; Orlin, J.B. (1993) Network flows: theory, algorithms, and applications. Prentice-Hall.