

Engenharia de Tráfego reativa em domínio MPLS utilizando Inteligência Computacional

Nilton Alves Maia, Luciano De Errico e Walmir M. Caminhas

Resumo—Este trabalho apresenta um sistema de Engenharia de Tráfego, capaz de sustentar níveis diversos de QoS na rede (tráfego de dados, voz e vídeo), utilizando MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) e Lógica Nebulosa. O módulo de Lógica Nebulosa analisa parâmetros representativos do tráfego (atraso, *jitter*, perda e vazão) e reorganiza as rotas MPLS de modo a melhor balancear a carga e atender aos requisitos de QoS. Testes, realizados no simulador de redes ns-2, mostraram que o sistema foi capaz de manter o QoS acordado mesmo com variações na carga de tráfego, queda em enlaces ou ajustes efetuados pela função de controle.

Palavras-Chave—Inteligência Computacional, Engenharia de Tráfego, Qualidade de Serviço.

Abstract—This work presents a Traffic Engineering system, capable of supporting different levels of QoS in the network (data, voice, and video traffic), using MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) and Fuzzy Logic. The Fuzzy Logic module analyses representative traffic parameters (delay, jitter, loss, and throughput) and reorganizes the MPLS routes in order to get better load balance and attend the QoS requirements. Tests, performed in the network simulator ns-2, showed that the system was capable of keeping the agreed QoS even in face of variations in the traffic load, connection failures, or adjustments carried out by the control function.

Keywords—Computational Intelligence, Traffic Engineering, Quality of Service.

I. INTRODUÇÃO

Há, no momento, uma expectativa de integração das redes de voz e dados em uma única rede de alta velocidade, na qual aplicações vão se utilizar intensivamente de recursos multimídia. Dentre estas novas aplicações podem-se citar o comércio eletrônico, a videoconferência, a voz sobre IP e a educação a distância, entre outras. Essas aplicações demandam monitoração e controle da Qualidade de Serviços (*QoS-Quality of Services*) e uma crescente capacidade de tráfego. Este artigo apresenta um sistema de Engenharia de Tráfego (*TE - Traffic Engineering*), capaz de sustentar tráfego misto (dados, voz e vídeo) com QoS na rede, utilizando MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) e Lógica Nebulosa. Uma característica importante da TE deve ser a capacidade de adaptação às mudanças nas condições da rede. Este fato leva à necessidade da TE apresentar algum tipo de comportamento inteligente. Este requisito influenciou decisivamente na opção pelo uso de Inteligência Computacional (IC) neste trabalho. A área de IC engloba diversos paradigmas computacionais diferentes. Os principais paradigmas da IC são [1]: Redes Neurais Artificiais

(RNAs), Sistema Nebuloso e Computação Evolutiva. O artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II é feita uma breve introdução sobre TE, MPLS e também são discutidos alguns trabalhos relacionados ao tema TE reativa em redes IP/MPLS. A Seção III faz a descrição do Sistema de TE. A Seção IV mostra os resultados obtidos com a simulação. A Seção V apresenta as conclusões e sugestões para continuidade dos trabalhos.

II. ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM UM DOMÍNIO MPLS

A TE é o processo de arranjar como o tráfego flui através da rede, para que congestionamentos causados pela utilização desigual dos seus enlaces possam ser evitados. Em geral, a TE engloba a aplicação de princípios tecnológicos e científicos para medir, modelar, caracterizar e controlar o tráfego na rede [2]. Dado um sistema autônomo, definido pelos seus nós e enlaces, o problema da TE é encontrar uma rota adequada, que atravessando o domínio interliga um nó origem de uma aplicação a um nó destino. Uma forma de implementar a TE de forma efetiva é através do uso do MPLS. A TE é implementada no MPLS através do estabelecimento de LSPs (*Label Switching Paths*). O LSP é o caminho ou conexão virtual, através do qual o pacote originado por uma determinada aplicação percorre, de um roteador a outro, até atingir o seu nó de destino. O MPLS desvincula as funções de controle e encaminhamento, atribuindo um pacote a uma Classe de Equivalência de Encaminhamento (*FEC-Forwarding Equivalence Classes*) específica apenas uma vez, quando o pacote entra na rede. A informação sobre a FEC à qual um pacote pertence é então codificada como um rótulo, que é inserido no pacote. Nos roteadores subseqüentes, o cabeçalho do pacote não é mais analisado e não há mais busca na tabela de roteamento. O rótulo é utilizado como um índice em uma tabela que especifica o próximo salto e um novo rótulo. O roteador seguinte troca o rótulo antigo pelo rótulo novo e encaminha o pacote para o próximo salto. Recentemente, têm sido apresentadas propostas onde se discute a TE reativa em redes IP/MPLS. Resende et al. [3] propõem um Controle de Admissão de Conexão e Roteamento num ambiente IP/MPLS, usando Lógica Nebulosa com o propósito de oferecer QoS aos usuários. Din e Faisal [4] apresentam um dispositivo de alocação dinâmica de largura de banda em enlaces, em um ambiente DiffServ-MPLS. O dispositivo é baseado em Lógica Nebulosa e em um esquema de máxima alocação de largura de banda. Khan e Alnuweiri [5] propõem um algoritmo utilizando Lógica Nebulosa para tentar resolver o problema do roteamento em TE. Supõe-se que o protocolo de roteamento OSPF-TE está ativo na rede. Considera-se também que o MPLS está

Nilton Alves Maia, Luciano De Errico e Walmir M. Caminhas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE/UFMG Av. Antonio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil, E-mails: niltonmaia@terra.com.br, lerrico@cpdee.ufmg.br, caminhas@eee.ufmg.br.

disponível para suportar caminhos explícitos. No algoritmo, a Lógica Nebulosa é utilizada para determinar um conjunto de possíveis caminhos. Celestino Jr et al. [6] propõem um esquema de TE com MPLS, usando lógica nebulosa, que efetua o balanceamento reativo da carga de tráfego visando o controle do congestionamento. Liu et al. [7] fazem a modelagem do problema da otimização do roteamento explícito com múltiplas restrições, com o objetivo de minimizar o congestionamento global da rede. Um algoritmo Adaptativo Genético Heurístico (HAGA) é proposto. Dias et al. [8] apresentam técnicas de otimização aplicada à problemas de TE em redes MPLS. As tarefas de TE são modeladas como um problema de programação matemática, sendo proposto o uso de algoritmos heurísticos. Elwalid et al. [9] descrevem o Sistema MPLS TE adaptativo (MATE). O MATE é baseado numa abordagem distribuída com múltiplos caminhos. Nesta abordagem, várias LSP's explícitas são estabelecidas entre um determinado nó de ingresso e outro de egresso, usando protocolos padrões como CR-LDP ou RSVP-TE, ou configuradas manualmente. Svalow [10] sugere duas estratégias de otimização. A primeira usa várias LSP's para cada destino, para balancear a carga. Entretanto, ao invés de enviar pacotes de prova, como no MATE, para monitorar a utilização de cada LSP, é usada a informação da utilização de enlace proporcionada pelo OSPF ou IS-IS extensível. A segunda estratégia tenta auto-ajustar a largura de banda baseando-se no uso real da LSP. Dias et al. [11] propõem uma solução para o problema de TE dinâmica em redes MPLS. O problema consiste na maximização da vazão dos fluxos de dados injetados na rede e encaminhados nas LSPs. Ele foi modelado como um problema de programação matemática e resolvido pelo uso de heurísticas. Cui et al. [12] apresentam um algoritmo de ajuste de fila (QTA) visando fornecer QoS para TE em redes MPLS. O algoritmo visa a distribuição dos tráfegos de melhor esforço e com requisitos de QoS, para filas diferentes. Butenweg [13] propõe um sistema de TE reativo em redes MPLS que visa otimizar a vazão do tráfego de melhor esforço. O re-balanceamento da carga é realizado pelo re-roteamento ou através do uso de vários caminhos. Algumas das propostas descritas tentam resolver o problema do congestionamento, enquanto outras tentam se adaptar à demanda de largura de banda adicional. Contudo em sua grande maioria, elas não cobrem o re-roteamento da LSP previamente estabelecida após a ocorrência de mudanças significativas na rede, como falhas em enlaces, redução ou aumento do tráfego em uma LSP, ou mesmo a sua liberação.

III. O SISTEMA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Este item trata da descrição do sistema de TE proposto.

A. Arquitetura do sistema

O sistema proposto é distribuído e adaptativo. É distribuído no sentido de que cada roteador de ingresso (*LER - Label Edge Router*) toma as suas próprias decisões. É adaptativo por se ajustar às mudanças no estado da rede. A Figura 1 mostra a arquitetura do sistema proposto, com diversos LER's e LSR (*Label Switch Router - roteador intermediário*).

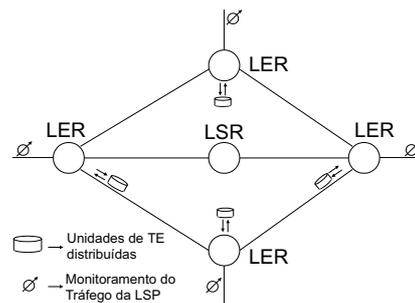


Fig. 1. Arquitetura do sistema de TE

Considerando-se um conjunto de aplicações prioritárias, entrantes no domínio MPLS, as unidades de TE dos LER's são responsáveis pela decisão sobre a criação, cálculo do caminho, ativação, monitoramento e re-roteamento das LSP's. O cálculo do caminho para uma LSP leva em conta a prioridade, a vazão, o atraso fim-a-fim da aplicação e as medições de tráfego nos enlaces do domínio. É admitida a existência do protocolo OSPF-TE, que permite o fornecimento de informação dinâmica do tráfego nos enlaces de um LSR para outro [5]. O re-roteamento de LSP's é realizado quando ocorre falhas em enlaces ou quando as aplicações prioritárias ultrapassam as taxas de vazão acordadas. No caso de falha em enlace, a duração da interrupção pode não ser curta o suficiente para que as aplicações de multimídia e de tempo real consigam manter suas sessões, sem o re-roteamento para uma LSP alternativa. O caminho escolhido para a LSP alternativa deve portanto garantir QoS compatível com o oferecido pela LSP principal. Por outro lado, se a vazão de tráfego gerada pela aplicação ultrapassar o valor reservado, pode ocorrer congestionamento e em consequência comprometer o QoS oferecido. O sistema de TE, após detectar o aumento da vazão e a queda do QoS oferecido, tenta efetuar ajustes na rede visando encontrar um caminho mais adequado para o re-roteamento do tráfego da aplicação. A Figura 2 mostra os componentes do sistema de TE proposto.

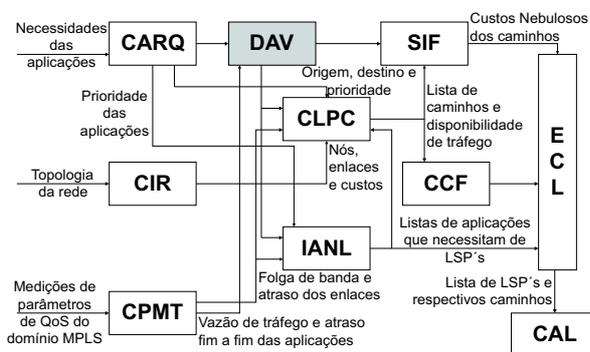


Fig. 2. Componentes do sistema de TE

O CARQ cadastra informações sobre as aplicações tais como, prioridades e necessidades de vazão e atraso. O CIR cadastra as informações sobre a arquitetura da rede, incluindo a topologia, a largura de banda e o atraso mínimo em cada um dos enlaces. O CPMT recolhe e processa as medições

de vazão, atraso, jitter e perda em cada enlace, e também dos fluxos fim-a-fim das aplicações. O DAV é o responsável pela detecção do aumento da vazão de tráfego das aplicações prioritárias. As novas necessidades de vazão, que ultrapassem os valores acordados, são entregues aos módulos SIF, CLPC e IANL. O IANL recebe como entrada a prioridade das aplicações, além das medições referentes à vazão de tráfego, a perda de pacotes e o atraso fim-a-fim. O módulo produz como saída uma lista de aplicações que necessitam de LSP's. O CLPC produz uma lista de caminhos mais curtos em condições de estabelecer LSP's principais e reservas para as aplicações. O CCF recebe a lista de caminhos mais curtos para as LSP's, e depois identifica os caminhos que possuem nós intermediários comuns (excetuando os nós origem e destino). A saída produzida pelo módulo é uma lista de caminhos candidatos, com a mesma família e em condições de estabelecer as LSP's. O SIF, que será melhor descrito no item seguinte, calcula os custos nebulosos dos caminhos candidatos que estão sendo avaliados, para atender as aplicações que necessitam de LSP's. Os custos nebulosos calculados pelo SIF são então enviados ao ECL. O ECL fornece como saída uma lista de LSP's que devem ser criadas e os respectivos caminhos escolhidos. Em seguida, as LSP's são criadas e ativadas pelo CAL.

B. O Sistema Inferência Nebulosa

O SIF utilizado no sistema de TE possui duas variáveis lingüísticas de entrada e uma variável lingüística de saída. As variáveis lingüísticas de entrada representam as métricas ou parâmetros de QoS requisitados pelas aplicações e também aqueles disponibilizados pelos caminhos candidatos para estabelecimento das LSP's. A variável lingüística de saída representa o custo de cada um dos possíveis caminhos candidatos. Para cada métrica é definido um conjunto de funções de pertinência. As métricas utilizadas nas variáveis de entrada são a folga de banda e o atraso do caminho candidato. A folga de banda residual num enlace *i* é calculada pela equação (1).

$$FB_i(t) = LB_i(t) - VZ_i(t) \tag{1}$$

Sendo que:

$LB_i(t)$ = largura de banda do enlace *i* no instante *t*

$VZ_i(t)$ = vazão no enlace *i* no instante *t*.

Dado um determinado caminho candidato interligando os nós origem e destino, a métrica folga de banda representativa é a menor folga banda residual nos enlaces que o compõem, como mostra a equação (2).

$$FB(t) = \min[FB_1(t), FB_2(t), FB_3(t), \dots, FB_n(t)] \tag{2}$$

Onde:

$FB(t)$ = folga de banda representativa do caminho entre origem e destino no instante *t*.

A primeira variável lingüística de entrada (relBW) representa a relação entre a folga de banda representativa do caminho

candidato para estabelecimento da LSP e a vazão desejada pela aplicação. Os valores lingüísticos, definidos pelas funções de pertinência mostradas na Figura 3, são: "Baixa", "Adequada" e "Alta".

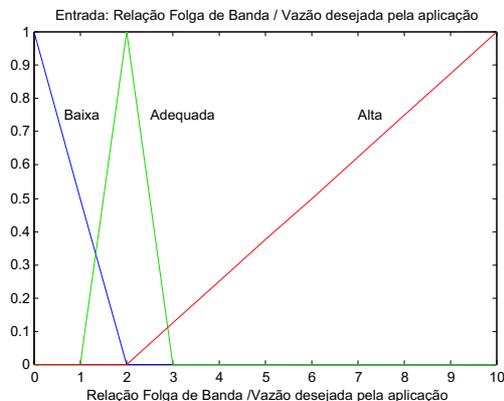


Fig. 3. Funções de Pertinência da Entrada: Relação entre a folga de banda representativa do caminho candidato e a vazão desejada pela aplicação

A segunda variável lingüística de entrada (relIDL), funções de pertinência mostradas na Figura 4, representa a relação entre o atraso máximo desejado pela aplicação e o atraso representativo do caminho candidato para estabelecimento da LSP. Os valores lingüísticos são: "Baixa", "Adequada" e "Alta".

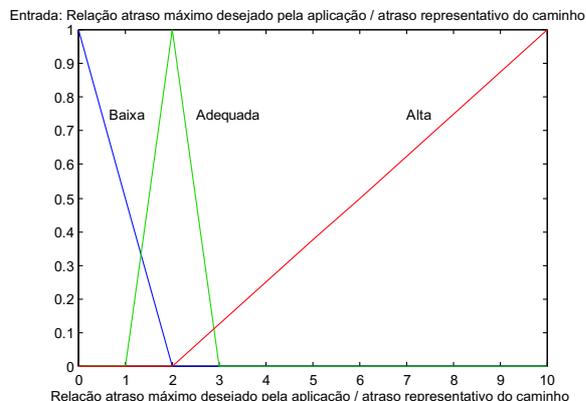


Fig. 4. Funções de Pertinência da Entrada: Relação entre o atraso máximo desejado pela aplicação e o atraso representativo do caminho candidato

A variável lingüística de saída é o custo do caminho (Custocam), mostrada na Figura 5, representando o custo nebuloso do caminho candidato que está sendo avaliado. Os valores lingüísticos são: "Excelente", "Bom", "Regular", "Ruim" e "Muito ruim".

O método de Inferência utilizado neste trabalho é o proposto por Mandani [14]. Para produzir a saída Custo, é utilizado o método de defuzificação de centro de área.

A Tabela I mostra a base de regras utilizadas para a construção do SIF.

IV. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

As simulações realizadas tiveram como objetivo a avaliação do QoS oferecido às aplicações prioritárias (voz e vídeo) e

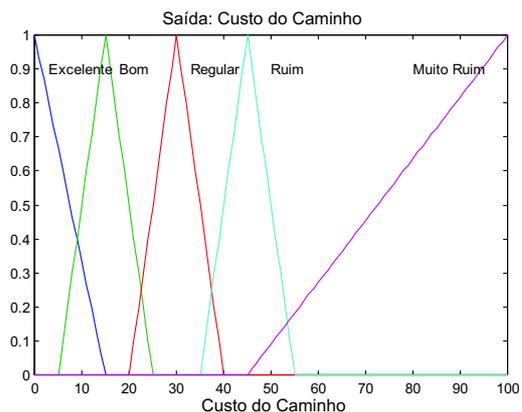


Fig. 5. Funções de Pertinência da Saída: Custo do caminho candidato

TABELA I
BASE DE REGRAS DO SIF

relBW	relDL	Custocam
Baixa	Baixa	Muito ruim
Baixa	Adequada	Ruim
Baixa	Alta	Muito ruim
Adequada	Baixa	Ruim
Adequada	Adequada	Excelente
Adequada	Alta	Bom
Alta	Baixa	Ruim
Alta	Adequada	Bom
Alta	Alta	Regular

não prioritárias (dados) que cruzam o domínio MPLS. Os parâmetros de QoS fim-a-fim medidos foram atraso, variação do atraso, vazão e perda de pacotes.

A. Ferramenta de simulação

Para avaliar o sistema de TE foi utilizado o simulador de redes ns-2 [15]. O ns (*Network Simulator*) é um simulador baseado em eventos discretos e orientado a objetos, para a simulação de redes. Junto com o ns é distribuído um software para animação da simulação, o nam (*Network animator*). O simulador ns possibilita a simulação de redes com IntServ (*Integrated Services*), DiffServ (*Differentiated Services*) ou MPLS.

B. Topologias de simulação

Foram utilizadas as duas topologias de simulação mostradas nas Figuras 6 e 7. A disciplina de escalonamento utilizada nas filas dos LSR's das duas topologias foi a FIFO (*First In First Out*).

C. Influência da implementação da TE no QoS oferecido às aplicações e na utilização dos recursos da rede

Os resultados obtidos nas simulações mostraram que a TE possibilitou uma melhoria do QoS oferecido às aplicações prioritárias nas duas topologias avaliadas. Como exemplo, são mostradas nas Figuras 8 e 9 a evolução dos parâmetros de QoS na topologia complexa para uma aplicação de vídeo e outra de voz.

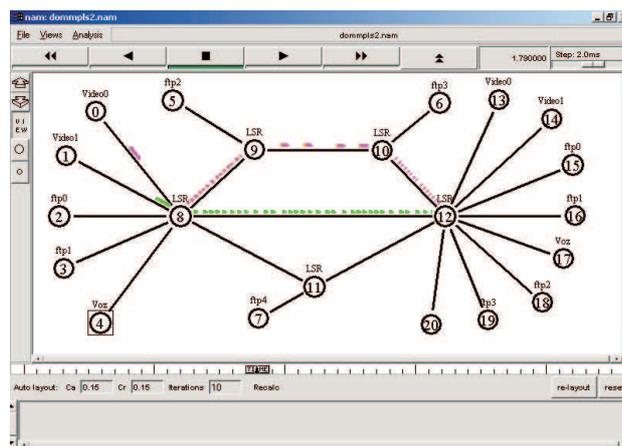


Fig. 6. Topologia simples de simulação

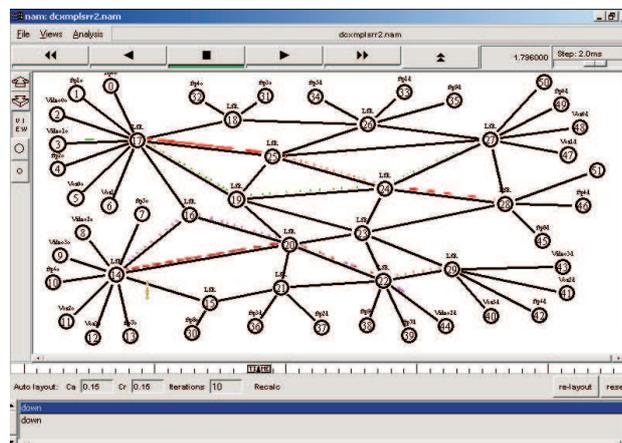


Fig. 7. Topologia complexa de simulação

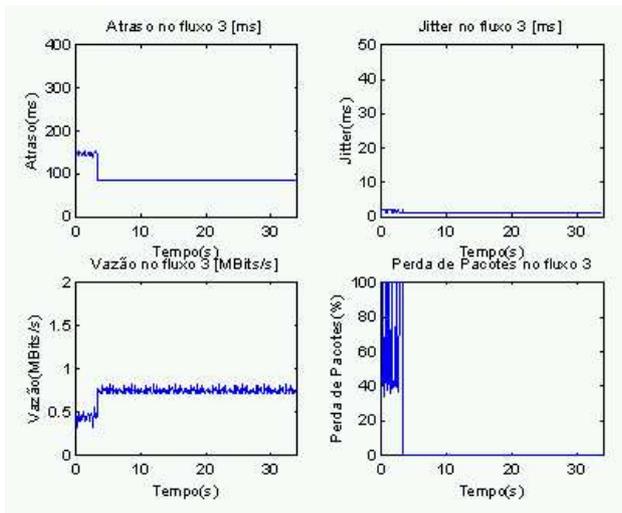


Fig. 8. Evolução da vazão, perda de pacotes, atraso e jitter para a aplicação de vídeo

Os resultados apresentados nas Figuras 8 e 9 mostram que, após a implementação da TE (instante 4s), as necessidades dos fluxos de vídeo e voz em termos de atraso fim-a-fim e vazão (vídeo 750 Kbps e voz 128 Kbps) foram atendidas. Os resultados atendem às metas de QoS apresentadas na recomendação G.1010 [16], ou seja, atraso menor que 150 ms para voz e vídeo, perda de pacotes menor que 1 por cento para vídeo e menor que 3 por cento para voz e variação do atraso menor ou igual a 1 ms para voz. No caso das aplicações de vídeo, a recomendação G.1010 não propõe um valor limite para a variação do atraso.

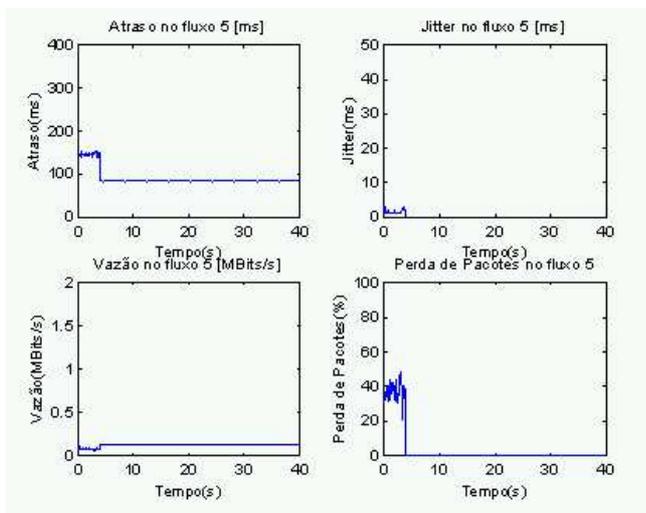


Fig. 9. Evolução da vazão, perda de pacotes, atraso e jitter para a aplicação de Voz

Conforme mostra a Tabela II, a implementação da TE possibilitou também uma melhor utilização dos recursos da rede e um aumento da RTeo nas duas topologias avaliadas. A RTeo é a relação entre o tráfego total escoado e o tráfego total oferecido ao domínio MPLS.

TABELA II
DESEMPENHO DA REDE NAS TOPOLOGIAS SIMPLES E COMPLEXA

Indicadores de Desempenho	rede sem TE Topologia		rede com TE Topologia		
	simples	complexa	simples	complexa	
Rteo	0.59	0.57	1.00	1.00	
perda média de pacotes (%)	aplicações prioritárias	57.2	61.1	0.0	0.0
	aplicações não prioritárias	11.1	10.7	0.0	0.0
utilização média da rede (%)	0.058	0.05	0.13	0.07	

Pode-se observar na Tabela II que, com a ativação da TE, ocorreu uma melhora na RTeo de 68 por cento na topologia simples e de 75 por cento na topologia complexa. Ocorreu também, nas duas topologias, uma redução significativa da perda média de pacotes para as aplicações prioritárias e não prioritárias. Além disso, a utilização média da rede é melhorada em 129 por cento na topologia simples e em 39 por cento na topologia complexa.

D. Influência das falhas em enlaces no QoS oferecido as aplicações

Em termos globais, o desempenho da rede, quando submetida à atuação da TE, foi pouco afetado pelas falhas em enlaces, conforme mostra a Tabela III. Devido às falhas ocorridas nos enlaces, houve uma pequena diminuição da RTeo e um aumento da perda média de pacotes para as aplicações prioritárias. Entretanto, a perda média de pacotes verificada para estas aplicações atende às metas de QoS apresentadas na recomendação G.1010 [16] para voz (menor que 3 por cento) e vídeo (menor que 1 por cento).

TABELA III
EFEITO DA FALHA NO DESEMPENHO DA REDE COM TOPOLOGIA SIMPLES E COMPLEXA

Indicadores de Desempenho	TE na Topologia simples		TE na Topologia complexa		
	sem falha	com falha	sem falha	com falha	
Rteo	1.00	0.99	1.00	0.99	
perda média de pacotes (%)	aplicações prioritárias	0.0	0.2	0.0	0.1
	aplicações não prioritárias	0.0	0.0	0.0	0.0
utilização média da rede (%)	0.13	0.13	0.07	0.07	

A perda média de pacotes para o conjunto de aplicações não prioritárias e a utilização média da rede permaneceram inalterados. Estes resultados mostram que os caminhos escolhidos para as LSP's reservas, tanto na topologia simples como na complexa, conseguem manter níveis de Qualidade de Serviços semelhantes aos oferecidos pelas LSP's principais.

E. Influência do aumento da vazão das aplicações prioritárias no QoS oferecido

Apesar do aumento da vazão das aplicações prioritárias, os ajustes efetuados pela função de TE foram bem sucedidos tanto na topologia simples como na complexa. Apenas como exemplo, é mostrada na Figura 10 a evolução do atraso, variação do atraso, vazão e perda de pacotes de uma aplicação de vídeo na topologia complexa.

Durante a atuação da TE (período entre 4 e 40 segundos), o QoS oferecido às aplicações de vídeo oscila em função do crescimento da vazão. Após a detecção da queda do QoS, a função de ajuste da TE inicia a procura por um caminho mais adequado para escoar o tráfego da aplicação. Após encontrar o caminho mais adequado, a função de ajuste providencia o re-roteamento da LSP. Como consequência disso, as novas necessidades de vazão da aplicação passam a ser atendidas após a estabilização. Desta forma, o atraso permaneceu em 100 milissegundos, a perda de pacotes se manteve próxima de zero e a variação do atraso foi menor que 1 ms. Assim, apesar do aumento da vazão da aplicação de vídeo, o QoS oferecido é aceitável, segundo a recomendação G.1010 [16]. Foram realizadas também simulações, onde o domínio MPLS foi submetido a aplicações mal comportadas, mas sem a habilitação da função de ajuste. A Tabela IV mostra os

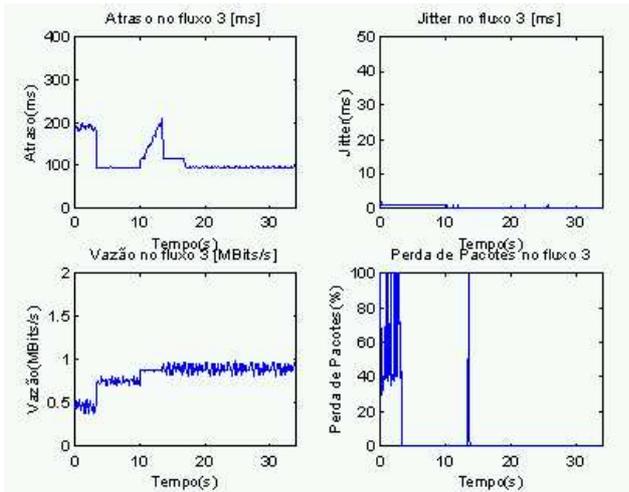


Fig. 10. Evolução dos parâmetros de QoS das aplicações de vídeo

resultados obtidos nas topologias simples e complexa para a TE sem e com habilitação da função de ajuste (FA).

TABELA IV

INFLUÊNCIA DA FUNÇÃO DE AJUSTE NA PERDA MÉDIA DE PACOTES DAS APLICAÇÕES PRIORITÁRIAS QUE ULTRAPASSAM A VAZÃO ESTIPULADA

Perda média de pacotes das aplicações (%)	Topologia simples		Topologia complexa	
	TE sem FA	TE com FA	TE sem FA	TE com FA
prioritárias	20,9	1,5	12,1	0,2
não-prioritárias	0,0	0,0	2,2	0,0

O desempenho da TE com função de ajuste é superior. Obtém-se um percentual muito menor de perdas de pacotes para as aplicações prioritárias, o que confirma a eficiência da TE com a função de ajuste.

V. CONCLUSÕES

Apresentou-se neste artigo um sistema de TE utilizando MPLS e Lógica Nebulosa, visando oferecer e manter QoS para um tráfego simultâneo, na rede, de aplicações de dados, voz e vídeo. A funcionalidade do sistema foi testada utilizando o simulador de redes ns-2, com diversas situações de tráfego cruzando um domínio MPLS. Os resultados das simulações comprovaram que o sistema proporciona flexibilidade na alocação e utilização dos recursos, adaptando as rotas às variações na carga de tráfego e mantendo o QoS acordado, mesmo em situação de queda em enlace. Em comparação a um cenário sem TE, o sistema proposto proporcionou, na rede de topologia complexa, uma melhoria de 39 por cento no percentual de utilização da rede e 75 por cento na razão entre o tráfego escoado e o tráfego oferecido à rede. Em caso de queda em enlace, notou-se que durante um curtíssimo período de tempo, correspondente à detecção da falha e à ativação das LSP's reservas, ocorreram perda de pacotes, diminuição da vazão e alterações na variação do atraso, principalmente para as aplicações de vídeo. Passado este transiente, a situação voltou ao normal, sendo que o QoS

oferecido às aplicações foi semelhante aquele disponibilizado quando na ausência de falhas. Além disso, a capacidade de adaptação da TE se mostrou eficiente para efetuar ajustes nos caminhos das LSP's, visando atender às novas necessidades de vazão das aplicações prioritárias, quando estas ultrapassam as taxas acordadas. Como resultado, apesar do aumento da vazão das aplicações, o QoS oferecido voltou a ser mantido dentro de valores aceitáveis após os ajustes efetuados pela função de TE. Os resultados obtidos são promissores, entretanto mais estudos são necessários para implementar completamente o sistema de TE. Ainda deverão ser implementados os algoritmos para a otimização dos recursos da rede empregando programação matemática, para controle de admissão com a adoção de um esquema de diferenciação de serviços visando priorizar o atendimento de determinados fluxos agregados, para o reconhecimento e classificação dos perfis de comportamento de tráfego das aplicações e para a previsão da vazão nos enlaces do domínio MPLS, este utilizando RNAs. O último algoritmo será utilizado para a identificação dos enlaces críticos e sinalização da necessidade de ampliação de forma proativa.

REFERÊNCIAS

- [1] E. M. Iyoda and J. J. Sousa, *Inteligência Computacional no projeto automático de Redes Neurais Híbridas e Redes Neurofuzzy Heterogêneas*, Dissertação de Mestrado, FEEC/ Unicamp, Jan. 2000.
- [2] D. O. Awduche et al., *Overview and principles of Internet Traffic Engineering*, RFC 3272, 2002.
- [3] R. A. Resende, S. M. Rossi, A. Yamakami, L. H. Bonani and E. Moschim, *Traffic Engineering with MPLS using Fuzzy Logic for application in IP Networks*, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, pp.1146-1151, 2003.
- [4] M. N. Din and N. Faisal, *Dynamic resource allocation of IP traffic for a Diffserv-MPLS interface using Fuzzy Logic*, Proc of 2003 IEEE Asia Pacific Conference on Communications, pp. 339-343, Set. 2003.
- [5] J. A. Khan and H. Alnuweiri, *A Traffic Engineered Routing Algorithm based on Fuzzy Logic*, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, Ago. 2003.
- [6] J. Celestino Jr., P.R.X. Ponte, A.C.F. Tomaz and A.L.B.P.B. Diniz, *FuDyLBA: Um Esquema de Engenharia de Tráfego para Balanceamento de Carga em Redes MPLS Baseado em Lógica Difusa*, SBRC, 2004.
- [7] H. Liu, D. Bai and W. Ding, *An Explicit Routing Optimization Algorithm for Internet Traffic Engineering*, Proceedings of ICCL2003, 2003.
- [8] R. A. Dias, E. Camponogara, J. Farines, R. Willrich and A. Campestrini, *Otimização Lagrangeana em Engenharia de Tráfego para Redes IP sobre MPLS*, SBRC, Mai. 2003.
- [9] A. Elwalid, C. Jin, S. Low and I. Widjaja, *MATE: MPLS adaptive Traffic Engineering*, In IEEE Infocom'01 Proceedings, 2001.
- [10] G. Svalow, *MPLS Advantages for Traffic Engineering*. IEEE Communication Magazine, Volume: 37 Issue: 12, Dez. 1999.
- [11] R. A. Dias, E. Camponogara, J. Farines, R. Willrich and A. Campestrini, *Engenharia de Tráfego Dinâmica em Redes IP sobre Tecnologia MPLS: Otimização Baseada em Heurísticas*, SBRC, Mai. 2004.
- [12] B. Cui, Z. Yang and W. Ding, *A Load Balancing Algorithm Supporting QoS for Traffic Engineering in MPLS Networks*, CIT, vol. 00, pp.436-441, 2004.
- [13] S. Butenweg, *Two Distributed Reactive MPLS Traffic Engineering Mechanisms for Throughput Optimization in Best Effort MPLS Networks*, Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communications (ISCC), vol. 00, p. 379, 2003.
- [14] E. H. Mandani and S. Assilian, *An experiment in linguistic synthesis with a Fuzzy Logic Controller*, International Journal Of Man Machine Studies. Vol. 7. No. 1, 1975.
- [15] Network Simulator - ns version 2 disponível em <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Mar. 2003.
- [16] International Telecommunication Union - ITU-T, G.1010, *End-user multimedia Qos categories*. Series G: Transmission Systems And Media Digital Systems And Networks, 2002.