

MPLS E A ESCALADA DA INTERNET

José Manoel Duarte Mendes

Fundação CPqD

GIR/DRT

Rod Campinas Mogi Mirim Km 118, CEP 13.088-902

Campinas, SP

SUMÁRIO

As demandas atuais dos usuários Internet, a evolução dos processadores dos computadores, a melhoria crescente dos meios físicos de transmissão e as possibilidades concretas de tráfego multimídia fim-a-fim introduzidas pelos comutadores multisserviço de nova geração, implicam em taxas de dados crescentes que contemplam aplicações sofisticadas. Assim, os mecanismos criados, desde o aparecimento do ATM como produto disponível no mercado, com possibilidade de atribuir qualidade de serviço (QoS), bem como os protocolos introduzidos para se compatibilizar o IP nas técnicas de transmissão existentes e criadas a partir de então, mudam os cenários das telecomunicações e da Internet, que passam a ter um provimento de serviços com concepção distribuída na rede e convergem para uma infra-estrutura de rede única. Neste artigo, apresenta-se a aplicação do IP nas arquiteturas de rede principais e discute-se a evolução de cenários que utilizam essas arquiteturas .

1. INTRODUÇÃO

A Internet hoje é o ambiente de comunicações de dados de maior abrangência e apresenta, portanto, um significativo potencial de implantação crescente de negócios e entretenimentos virtuais. A demanda por largura de banda é cada vez maior pela entrada progressiva de novos usuários e aplicações que demandam maior processamento e volume também crescente de transferência de dados, neste hiper-ambiente cliente servidor. Serviços de diferentes naturezas, que exigem níveis de qualidade distintos, consideram fatores como o atraso de propagação e de processamento ao longo dos enlaces pelos elementos de rede, e também, os recursos disponíveis ao longo da rota pela qual os seus pacotes trafegam. Variadas soluções técnicas se apresentam, e muitas das vezes se dizem convergentes e interoperáveis, no objetivo de se construir a Internet do futuro.

2. CENÁRIO DE INVESTIGAÇÃO

O tráfego IP corre sobre várias infra-estruturas, sendo a ATM uma delas. O motivador de se utilizá-la, é o seu custo comparativamente baixo, como tecnologia que oferece alta capacidade de transmissão, funções avançadas de QoS, e principalmente sua disponibilidade no mercado no momento. Há *dois modos principais* de se trafegar o IP sobre esta infra-estrutura: o primeiro, adota um modelo que nela mapeia o IP, denominado "*IP sobre ATM*", ou "IP clássico" (CLIP). Foi desenvolvido pelo ATM Forum e emula o protocolo LAN Ethernet e Token Ring (LANE). Cria depois o clássico (CLIP) e termina com o MPOA (Multiprotocol Over ATM). Este último,

evolui para soluções que procuram minimizar a complexidade da componente de controle do ATM, como o intuito de melhorar o desempenho e diminuir o custo do núcleo da Internet. Surgem, então, os "modelos de *comutação multicamada*", que ainda usam sobreposição de protocolos para integrar a comutação ATM ao roteamento IP, mas com protocolos de sinalização diferentes. Surgem várias soluções proprietárias na disputa pelo mercado da Internet.

3. A ABRANGÊNCIA DO IP

3.1 IP sobre ATM[7]

Em meados da década de 90, alguns ISPs passaram seus núcleos de rede baseados em roteamento tradicional para o modelo que integra IP em ATM. Necessitavam de maior largura de banda, desempenho de encaminhamento determinístico e engenharia de tráfego para suportar o crescimento explosivo do tráfego em suas redes.

Na época, somente o ATM oferecia a largura de banda e a capacidade de encaminhamento para suprir o crescimento dos backbones Internet. Os ISPs eram obrigados a adequar quaisquer equipamentos que tivessem para acompanhar essa demanda, nessa plataforma.

Os requisitos de demanda das aplicações eram atendidos neste modelo utilizando-se funcionalidades de camada 3 nas bordas da rede e maximizando a vazão na rede pela alta taxa dos comutadores ATM no núcleo da rede. O papel do roteamento IP ficava limitado às bordas da rede porque o desempenho do mesmo, dependente de roteadores baseados em software, era visto como principal responsável pelo *pobre* desempenho da rede. Porém, a medida que os ISPs cresciam suas redes, se deparavam com os problemas que ameaçavam a escalabilidade, como:

- limitações das interfaces SAR ATM;
- a taxa de 10% do cabeçalho na célula;
- o problema N^2 do estabelecimento de PVC para conexões ATM na plataforma;
- o estresse do protocolo IGP pelo número de roteadores afins, que cada roteador tem que manter;
- a dificuldade de operar em ambientes não ATM.

A dificuldade maior, contudo era a de se operar a rede IP, que é uma rede com um arquitetura de protocolos não orientados a conexão e a ATM, cujos protocolos são orientados a conexão. Além disso, as arquiteturas têm cada uma seus próprios modelos de endereçamento, protocolos de roteamento, protocolos de sinalização e esquemas de alocação de recursos.

4. O MODELO DA COMUTAÇÃO MULTICAMADA[10]

À medida que a Internet crescia, adquiria-se a consciência de que ela se constituía na fundação de uma nova base para a economia. Com isso, desenvolver novos equipamentos especialmente voltados para ela, com o fim de otimizá-la, era uma oportunidade de mercado atraente, totalmente apoiada na convergência do IP como infra-estrutura da rede. Esta perspectiva suscitou o aparecimento de soluções que visavam diminuir o preço do comutador ATM e melhorar o desempenho e o controle do roteador IP, eliminado o complexo mapeamento do modelo IP sobre ATM. No final de 1996, surgiram as soluções proprietárias de comutação multicamada, que integravam a comutação ATM e o roteamento IP, a saber:

- a) IP Switching;
- b) Tag Switching;
- c) Aggregate Route-Based IP Switching (ARIS);
- d) Cell Switching Router (CSR).

Tinham como propósito atender a crescente demanda de vazão, suporte a multimídia, QoS e escalabilidade de rede, prescindindo do uso de ambiente cliente servidor e da sinalização usada pelo ATM.

4.1 As diferenças fundamentais entre as soluções de comutação multicamada

Embora tenham muito em comum, as soluções de comutação multicamada possuem diferenças fundamentais para atribuir e distribuir os rótulos com os atributos necessários para estabelecerem os LSPs (Label Switched Paths), que constituem:

- a) o modelo dirigido a dados e
- b) o modelo dirigido a controle

No modelo dirigido a dados, os atributos dos rótulos são criados quando os pacotes chegam. Um comutador multicamada pode alocar um atributo de rótulo tão logo um pacote chegue ou quando um fluxo é detetado. É vantajoso se atribuir um rótulo quando se tem um fluxo, pois assim se justifica o ônus (complexidade) de se atribuir e distribuir um rótulo. As soluções que implementaram o modelo dirigido a dados foram a do IP switching e a CSR. O MPLS não utiliza este modelo.

No modelo dirigido à controle, as ligações dos rótulos aos LSPs são criadas quando a informação de controle chega. Os rótulos são atribuídos em resposta ao processamento normal do tráfego do protocolo de roteamento, como o tráfego de controle do RSVP (Resources ReSerVation Protocol), ou o de uma configuração estática. Os comutadores multicamada implementados segundo este modelo foram o Tag Switching e o ARIS. O MPLS utiliza também este modelo.

4.2 Principais problemas das rede comutadas por multicamada

Cada solução de comutador multicamada mantinha uma componente de controle IP e usava a troca de rótulos do ATM como componente de encaminhamento. O desafio que a comunidade dos ISPs enfrentava, era o de as soluções serem proprietárias e não interoperáveis, portanto. Quando empregadas no núcleo da Internet, era necessário se ter a presença do

transporte ATM, pois a informação não poderia cruzar um ambiente misto de infra-estruturas como os de frame relay, PPP (Point to Point Protocol), SONET/SDH e LANs. Isto suscitou o aparecimento do MPLS (vide Figura 1), para se estabelecer uma padronização. Este padrão gera um conjunto de protocolos que visam realizar a tarefa de construir a substrato para o trânsito de *mission-critical data* pela Internet.

5. EVOLUÇÃO E TENDÊNCIAS DO AMBIENTE IP – O MPLS

O ambiente da Internet, que se caracteriza por ser do tipo melhor esforço, pois utiliza transmissão de pacotes pelo modelo não orientado a conexão, necessita de adição de novas características para adicionar qualidade de serviço segundo as demandas das novas aplicações multisserviço.

5.1 Fatores de degradação de qualidade de serviço[9]

Quando se considera a Internet quanto aos fatores que lhe degradam a qualidade serviço, os parâmetros de qualidade de serviço devem ser identificados e suas medições, viabilizadas. Essa qualidade pode ser expressa em função do atraso, jitter, largura de banda e confiabilidade das redes que transportam o serviço. Assim,

- a) o atraso representa o tempo decorrido entre a transmissão do último bit e a recepção do primeiro bit da informação no destino de um pacote. Quanto maior, implica em atuações do protocolo TCP que retardam o trânsito na rede com outras consequências de estresse em seus contadores e temporizadores;
- b) o jitter, que é a variação do atraso de trânsito fim-a-fim, se for grande, faz com que o protocolo TCP estime valores muito conservativos do valor de RTT (*Round Trip Time*), causando ineficiência no restabelecimento do fluxo de dados;
- c) a largura de faixa constitui a taxa de pico de dados que pode ser sustentada entre dois pontos finais. Ela não é unicamente dependente da oferta de faixa da infra-estrutura física, mas função também de outros fluxos que compartilham o caminho fim a fim selecionado e
- d) a confiabilidade é normalmente considerada como propriedade do sistema de transmissão e pode ser avaliada pela sua taxa de erro média. Pode, por outro lado, ser subproduto da comutação mal configurada ou deficitária que altera a ordem de transmissão dos pacotes, ou que causa descartes em loops transitórios de roteamento. O protocolo TCP é induzido a solicitar um comportamento de desvio de rota congestionada, quando não houve congestionamento nenhum na rede. A falta de confiabilidade também causa distorções do sinal na recepção de aplicações de voz e vídeo.

Esses fatores podem ser utilizados isolada ou conjuntamente, conforme a classe de serviço considerada.

5.2 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

Para se homogeneizar a plataforma das redes, quanto aos quesitos vazão, qualidade de serviço e escalabilidade, para se diminuir o leque de soluções tecnológicas distintas e ,consequentemente, aumentar a viabilidade do interfuncionamento entre elas, o IETF a organizou o grupo MPLS, que expediu um plano de trabalho em dezembro de 1997.

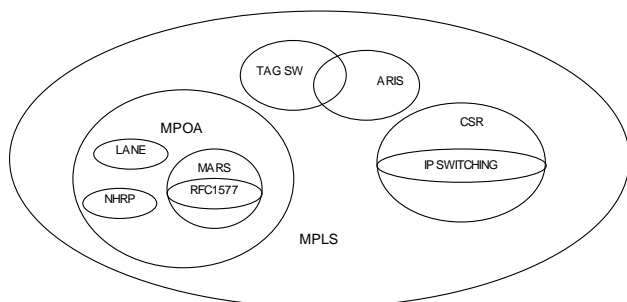


Figura 1.- As tecnologias de comutação de camada 3

5.3 A arquitetura do MPLS

Um detalhamento de suas características é realizado abaixo, no conjunto de metas estabelecido pelo grupo MPLS da IETF a ser contemplado pelo padrão, a saber:[4]

- escalabilidade do roteamento da camada de rede;
 - pelo uso de rótulos para agregar a informação de encaminhamento na presença de hierarquias de roteamento.
- maior flexibilidade no fornecimento de serviços de roteamento;
 - usando-se rótulos, para tráfegos que se destinam a serviços específicos sejam identificados, e com atribuição de QoS.
 - usando-se rótulos para encaminhar pacotes explicitamente por um caminho diferente daquele construído pelo encaminhamento baseado em destino.
- melhora do desempenho;
 - pela utilização do paradigma da troca de rótulos para se otimizar o desempenho de rede.
- simplificar a integração de roteadores de tecnologia baseada em comutação de células;
 - fazendo com que os comutadores de células se comportem como similares para os roteadores, reduzindo desta forma o número de roteadores afins que cada um tem que manter em sua tabela.
 - disponibilizando informações sobre a topologia física para os procedimentos de roteamento de camada de rede e empregando procedimentos comuns de endereçamento, roteamento e gerência.

5.4 Componentes comuns da arquitetura dos comutadores multicamadas e do MPLS

As funcionalidades das duas tecnologias podem ser divididas em 2 componentes construtivas principais:

- a) separação das funcionalidade de encaminhamento e de controle

- b) algoritmo de encaminhamento por troca de rótulo

5.5 A separação das componentes de encaminhamento e controle

Todas as soluções do modelo de multicamadas, inclusive as do MPLS, são compostas por duas funções componentes distintas: a de controle e a de encaminhamento. A de controle utiliza os protocolos de roteamento usuais (OSPF, IS-IS e BGP4) na troca de informações entre roteadores, para construir as tabelas de roteamento. Quando o pacote chega, a componente de encaminhamento procura a informação necessária na tabela para tomar a decisão de roteamento para cada pacote.

Separando-se as duas componentes, cada uma delas pode ser independentemente desenvolvida e modificada. O único requisito é que cada uma delas continue a se comunicar com a outra, de forma a se gerenciar a tabela de roteamento.

5.6 O algoritmo de encaminhamento por troca de rótulos

A componente de encaminhamento, de todas as soluções de comutação multicamada e a MPLS, é baseada em troca de rótulos. É o mesmo algoritmo usado em *frame relay* e ATM. Sinalização e distribuição de rótulos são fundamentais para a operação de encaminhamento pelo algoritmo

6. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO COM ATM E IP PURA

À medida que se avança no sentido de se construírem redes cada vez mais rápidas, as opções que contemplam a infraestrutura baseada em pacotes, em oposição às baseadas em circuitos, aparecem como favoritas, pela eliminação da sobreposição de redes. As operadoras, bem como os ISPs teriam como preferência gerenciar uma infra-estrutura única baseada em quadros ou células, à adotarem comutadores distintos para voz, frame relay, IP e ATM, como acontece nas redes atuais. Como eliminar a sobreposição de redes?

No caminho desta solução, a resposta mais acolhida como viável é o roteamento IP, que muitos acreditam ser a fundação da maioria das redes públicas do futuro. A deficiência maior do roteamento IP neste setor é o de tratar o atraso e o jitter. Os serviços diferenciados e o MPLS do IETF visam criar as classes de serviços que são alocados a tipos de fluxos de tráfego IP adequados para servir aos níveis de QoS pretendidos.

Por outro lado, os defensores da técnica ATM, que foi criada com o objetivo de transportar tráfegos do tipo multi-serviço, a apontam como preferencial no suporte a tráfegos de tipos diferentes, também por agregar confiabilidade variável de transporte.

7. A VIABILIDADE DA SOLUÇÃO ATM ALIADA AO MPLS PARA TRAFEGAR IP

Uma das maiores dificuldades da Internet é controlar o tráfego de maneira que os recursos sejam utilizados eficientemente. Os protocolos padrões de roteamento fornecem pouca, ou

nenhuma, informação sobre a largura de banda ou utilização. Outro problema é que as redes IP não tem mecanismos para priorizar tráfego, quando a banda se torna exígua.

Estas razões, e outras, fazem com que muitos ISPs utilizem ATM como backbone. O MPLS, porém, pode fornecer funções de engenharia de tráfego comparáveis, senão melhores pelo LSP, que podem ser usadas para mapear os fluxos de tráfego pela rede de forma que cada aplicação receba a QoS pretendida (serviços personalizados). Quando as redes de transporte sobrepõem o IP em ATM é necessário um novo plano de endereçamento do tipo NSAP (*Network Service Access Point*) e a introdução de vários PVCs através da nuvem ATM. Considerando-se os roteadores neste contexto, não há nuvem ATM porque estão interligados ponto a ponto a muitos outros roteadores. Esta técnica oferece muitas vantagens, porém o MPLS pode fazer melhor.

O MPLS instala a funcionalidade de roteamento nas matrizes ATM tornando-as roteadores que também podem comutar. São os LSRs (*Label Switching Routers*). O mesmo tipo de realização é utilizado em outras interfaces, além de ATM, como *frame relay*, Ethernet e PPP, que convivem com os LSRs ATM, promovendo uma migração suave a partir do modelo baseado em sobreposição sobre ATM. A funcionalidade MPLS pode ser acrescida em um equipamento inicialmente ATM puro, quando outros equipamentos multi-serviço puderem ser integrados, como roteadores e switches, usando um plano de endereçamento baseado em IP.

Durante o processo de migração para MPLS, o encaminhamento e o endereçamento ATM não precisam ser removidos. Os dois modelos podem coexistir, nas mesmas interfaces, bastando para isso a adoção de uma política de alocação de VCs. A coexistência dos protocolos PNNI (*Private Network to Network Interface*), que é o protocolo de roteamento e sinalização do ATM para redes privadas e LDP/CR-LDP (*Label Distribution Protocol/Constraint-based Routed Label Distribution Protocol*), o protocolo de sinalização do MPLS, com rota explícita e reserva de banda, é possível, também.

8. A VIABILIDADE DA SOLUÇÃO IP COM MPLS

Com o mecanismo de reserva de banda, o CR-LDP ou o RSVP pode transportar e reservar largura de faixa disponível e não comprometida. A banda disponível é modificada e o seu novo valor é divulgado por todos os outros nós via OSPF ou IS-IS. Com a utilização de um novo algoritmo de Dijkstra modificado, as novas rotas sujeitas às restrições de banda são computadas de acordo com o valor disponível, e a rota explícita é fornecida ao CR-LDP para criar o LSP real. Isto é realizado por meio de um rótulo que contém a rota explícita, computada dinamicamente.

As características da reserva de banda feita pelo CR-LDP lembram as do ATM. Contudo, o tratamento do pacote pelo protocolo é mais próximo do DiffServ (*Differentiated Services*) do que do PNNI, ou seja, ele não especifica um serviço fim-a-fim, mas um conjunto de tratamentos diferentes do pacote, que no conjunto formam um serviço. Por exemplo, no ATM, os serviços CBR (*Constant Bit Rate*) e VBR (*Variable Bit Rate*) são especificados via sinalização. No CR-LDP, um parâmetro de tráfego diz quão urgente é a transmissão de um pacote, enquanto

outro parâmetro distinto, indica como ponderar a prestação do serviço no LSP. Como consequência, o CR-LDP estipula a urgência e a importância como conceitos diferentes e não relacionados. Em ATM, um pacote urgente é ao mesmo tempo importante.

Esta distinção é valiosa para voz e vídeo, onde os pacotes, embora inegavelmente urgentes, não são importantes comparados aos de uma transação bancária, de forma geral. O conceito de urgência no ambiente de rede significa que os pacotes não devem chegar com intervalos de tempo muito grandes entre si. O ATM tem essa potencialidade e, no domínio IP, isto é assegurado pelo CR-LDP.

O DiffServ é uma técnica de se atribuir QoS ao fluxo IP, padronizada pelo IETF, por um protocolo de camada 3 que classifica os serviços em classes, tratando esses pacotes diferenciadamente por tipo de classe, nas filas dos buffers, para se atingir a qualidade que se deseja.

Quando todas essas características do MPLS são consideradas, este é capaz de conferir à suíte de protocolos IP as capacidades de tráfego com rota explícita do ATM. É crença de muitos que o IP com MPLS e CR-LDP vai substituir paulatinamente o ATM, pelas suas características de garantia de banda, controle, previsibilidade e outros. Essa crença se evidencia com a adoção pelo SG13 do ITU-T do protocolo CR-LDP como o protocolo de controle escolhido para transportar IP sobre ATM. Esta adoção pelo órgão de recomendações, evidencia que há uma inclinação mundial pela escalabilidade deste protocolo, como alternativa mais eficiente que a do PNNI nativo.

9. A NECESSIDADE DE BACKBONES WAN DE MAIOR EFICIÊNCIA

Neste sentido, o MPLS atende os princípios de maior vazão e maior eficiência e se constitui na proposta mais flexível no momento a oferecer simultaneamente QoS no transporte do protocolo IP e escalabilidade de rede por engenharia de tráfego. Algumas inovações, no sentido de melhorar ainda mais a perspectiva da escalabilidade, visam contemplar o roteamento do tráfego de um LSP com reserva de banda através de sistemas autônomos, os AS (*Autonomous Systems*), também de forma dinâmica. Por utilizarem os protocolos o OSPF e IS-IS para transportar informações de banda pela rede, e os mesmos serem restritos aos ASs, as mesmas não cruzam suas fronteiras, apesar dos túneis RSVP e CR-LDP o fazerem.

9.1 Roteadores de megabit/s e terabit/s

Para o século 21, onde as operadoras estarão disponibilizando fluxos de dados com valores adicionados, como VPNs, SLAs e serviços premium, os roteadores de altas taxas de comutação de pacotes têm um papel fundamental no núcleo da Internet. Juntamente com a sua disponibilização, o MPLS e os serviços diferenciados estarão sendo largamente utilizados.

Um exemplo real é o roteador da Juniper Networks, o primeiro da série dos vários produtos prometidos, que efetivamente foi testado e avaliado publicamente[3] e está sendo utilizado já está sendo utilizado pela WorldCom no núcleo de sua rede denominada UUNET, na Europa. Capaz de rotar 40 milhões

de pacotes por segundo, este roteador está sendo usado em 8 circuitos em Londres, Amsterdam e Frankfurt e será empregado também em enlaces entre Bruxelas e Paris. Utiliza MPLS e implementa QoS por DiffServ. Oferece pacotes sobre portas do tipo POS (*Packet Over Sonet*) e ATM, como POS/ATM OC3 (155 Mbit/s), POS/ATM OC12 (622 Mbit/s) e POS OC48

(2,488 Mbit/s), contruindo IP e MPLS sobre ATM e SONET diretamente.

A tabela 1 abaixo mostra outros fabricantes e os seus produtos.

Fabricante	Produto	Vazão Agregada por Chassis (Gbit/s)	Packets per second pps (milhões)	Roteador IP/Comutador ATM	MPLS	QoS
Avici Systems Inc	TSR	100	260	roteador IP	sim	DiffServ
Nexabit Networks Inc.	NX64000	160	499,2	ambos	sim	DiffServ
Pluris Inc	TNR/4Q1999	150	990	roteador IP	sim	DiffServ
Lucent Technologies Inc	6408 IP	20	32	roteador IP	sim	DiffServ
Nortel	Versalar Switch	120	720	roteador IP	sim	DiffServ
Netcore	Everest	10	22	ATM switch	não	DiffServ

Tabela 1 - Roteadores da categoria Gbit/s

Como novos formatos de rótulos são possíveis, sem que se tenha que alterar o protocolo de rede, é muito simples se estender a tecnologia MPLS a novas formas de transporte como DWDM (Dense Wave Division Multiplex) e comutação óptica. A nova geração de roteadores de altas taxas vão utilizar as técnicas de comutação óptica, sem a utilização de SONET ou SDH.

9.2 A rede óptica

No novo modelo da rede óptica, a infra-estrutura de transporte por roteadores de alta velocidade tende a desenvolver um núcleo de rede inteligente. Como no modelo de separação do controle e da comutação, na funcionalidade de roteamento, utilizado para o MPLS, um plano de controle centrado em IP também deve ser isolado. Os roteadores IP devem interagir com o núcleo da rede óptica para prover o provisionamento e o restabelecimento dos caminhos de luz dinamicamente.

Dessa forma, busca-se introduzir um sistema padronizado de sinalização que dote as redes ópticas de mecanismos que interpretem as informações de conexões do plano IP, para o plano óptico. Estas informações devem fazer parte das tabelas de roteamento da rede MPLS e incluídas nos campos adequados do protocolo CR-LDP, que as transporta pela rede óptica para a execução da ação desejada.

10. CONCLUSÃO

O controle do status de redes que constituem a Internet e a rede pública quanto a desempenho e gerência são de considerável

importância, visando-se uma evolução na qualidade de oferta dos serviços de nova geração, que gradualmente se destinam a aplicações mais sofisticadas. O uso de VPNs, que se utilizam dos protocolos que auferem QoS, vazão, gerenciamento e segurança para "business mission critical data", que circulam nas redes privadas e públicas, constitui um fator decisivo para a área de marketing das empresas, atentas a este nicho de negócios de alto potencial de receita. Somente com os quesitos de qualidade de serviço, que atribuem valor adicionado aos serviços prestados, confiabilidade e disponibilidade de rede, vazão satisfatória e otimização de utilização da faixa das redes WAN satisfeitos, é que as várias oportunidades potenciais de negócios na Internet se realizarão. Viabilizar estas oportunidades, assessorar suas implantações e otimizar redes que as absorvam, constituem outras oportunidades de negócio que os prestadores de serviço, tanto na área de telefonia quanto na de Internet, almejam alcançar. O MPLS e o MPLS, que é a sua aplicação no roteamento de pacotes nos meios ópticos por comutação de comprimentos de onda (lambdas), visam criar um ambiente provido de engenharia de tráfego, com QoS implantado nas rotas fim-a-fim, que viabilizam a Internet como rede pública. Ao mesmo tempo servem de suporte a tecnologias de camadas de enlace distintas que se interconectam, para constituírem uma rede única integrada.

11. BIBLIOGRAFIAS

- [1] Peter Ashwood-Smith, Bilel Jamoussi, Ph.D., e Don Fedyk, "MPLS: A Progress Report", NetworkMagazine.com, outubro de 1999,

<http://www.networkmagazine.com/magazine/current/9911tech5.html>

- [2] Sam Masud, Telecommunications .Online, "MPLS Special Delivery", outubro de 1999,.
- [3] Robert Mandeville e David Newman, "The Lone Router", Data Communications, 3Q 1999.
- [4] Eric C.Rosen, Cisco Systems, Inc.,Arun Viswanathan, Force10 Networks, Inc., Ross Callon, Juniper Networks, Inc., "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC 3031, Standard Track category, january 2001
- [5] R.Callon, Ironbridge Networks, P.Doolan, Ennovate Networks, N.Feldman, IBM, A.Fredette, Nortel Networks, G.Swallow, Cisco Systems Inc., A.Viswanathan, Lucent Technologies, "A Framework for Multiprotocol Label Switching", draft IETF, julho de 1999.
- [6] Loa Anderson, Andre Fredette, Nortel Networks Inc., Paul Doolan, Ennovate Networks, Nancy Feldman, IBM Corp, Bob Thomas, Cisco Systems, Inc., "LDP Specification", draft-ietf-mpls-ldp-04.txt, maio de 1999.
- [7] Chuck Semeria, Juniper Networks, "Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing int New Public Network", março 1999
- [8] Nortel Networks, "IP Traffic Engineering for Carrier Networks: Using Constraint-Based Routing do Deliver New Services", 1999, <http://www.nortelnetworks.com/html>
- [9] Paul Ferguson (Cisco Systems, Inc., USA) and Geoff Huston (Telstra Internet, Australia), "Quality of Service on the Internet: Fact, Fiction, or Compromise?", John Wiley & Sons, 1998, <http://www.telstra.net/gih/inet98/index.html>
- [10] Shishir Agrawal, "IP Switching", agosto 1997,
- [11] Greg M.Bernstein, Jennifer Yates, Debanjan Saha, "IP-Centric Control and Management of Optical Transport Networks", IEEE Communications Magazine, October 2000