

# Agregação de Tráfego em um Computador Adaptativo com Serviços Integrados IP sobre ATM

Carlos Eduardo Pagani\* Prof. Dr. Maurício Ferreira Magalhães  
{pagani, mauricio}@dca.fee.unicamp.br

Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial - DCA  
Fábrica de Engenharia Elétrica e de Computação - FEEC  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

## Resumo

Novas aplicações estão surgindo para integrar o uso de dados, voz e vídeo na Internet. Essas aplicações necessitam de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) no envio dessas informações. Isso motivou o desenvolvimento de serviços adicionais à arquitetura TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internetworking Protocol*) para garantir QoS. Em paralelo, a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é um importante meio de transmissão em redes de alta velocidade devido a capacidade de transmitir dados, voz e vídeo integrados com garantia de QoS. Esse artigo aborda as questões referentes ao uso da tecnologia ATM para suportar os novos serviços IP. Neste trabalho um modelo de comutação IP/ATM é proposto e avaliado por meio de simulação de algumas de suas características básicas.

## Abstract

New Internet applications integrates data, voice and video forwarding. These applications need Quality of Service (QoS) to control their traffic. Additional services in the TCP/IP (Transfer Control Protocol / Internetworking Protocol) architecture were proposed to assure this requirement. Additionally, ATM is an important transmission technology in high speed networks due to its capability to send integrated data, voice, and video with QoS. This paper reports the use of ATM technology to support new IP services. This work proposes to study an IP/ATM switching model and simulates the basic characteristics of this architecture.

## 1 Introdução

Há 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 essas novas aplicações podemos citar: vídeo conferência, voz sobre pacotes, redes de dados móveis, entre outras. Essas aplicações demandam controle de QoS e uma crescente capacidade de tráfego, implicando em consumo excessivo da largura de banda, recurso considerado escasso que deve ser compartilhado por todas essas aplicações.

A arquitetura clássica da Internet foi desenvolvida com base na família de protocolos TCP/IP que possui apenas um único tipo de serviço baseado em envio de pacotes com escalonamento por ordem de chegada (*first in, first out*), conhecido como melhor esforço (*best effort*) [1]. Esse serviço transmite cada pacote de forma independente, onde a qualidade no envio do pacote depende da carga momentânea da rede. Não há qualquer tipo de sinalização para controle de tráfego, tanto para a fonte quanto para o receptor. Não há disponibilidade de parâmetros para controle de QoS como, por exemplo, atraso de propagação (*delay*) ou taxa de transmissão (*throughput*).

O termo "Serviços Integrados à Internet" (IIS - *Internet Integrated Services*) [1] é utilizado para definir um modelo de serviços específico que agrega suporte às características

\* Aluno de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia elétrica / Unicamp

(QoS). Para estes fluxos o simulador reservou canais virtuais individuais diferentes dos canais originais estabelecidos para fluxos FT3. Os gráficos mostram um aumento em torno de apenas 3% em relação a política FT3 quando são adicionados o reconhecimento e separação de fluxos com QoS no controle IP. Com a perspectiva de aumento significativo no volume de tráfego multimídia na Internet nos próximos anos, estes resultados indicam que a redução de canais virtuais proporcionada por fluxos agregados permitirá atender em melhores condições o tráfego com QoS.

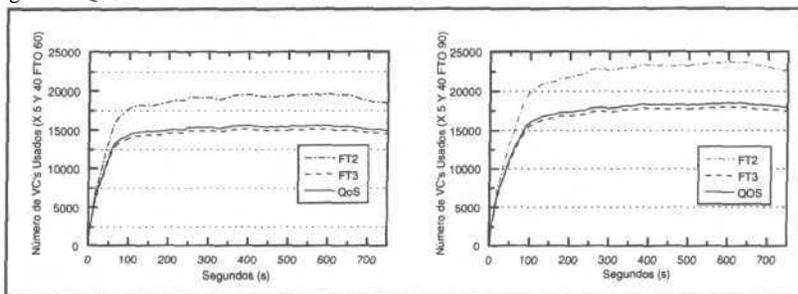


Figura 13: Comparação do uso dos tipos de fluxos FT2 e FT3

O desempenho de comutação também aumenta com a utilização de políticas de maior agregação. Outro fator positivo é a redução de eventos no comutador devido a diminuição de criação de canais (conexões mais estáveis). Desta forma, o mecanismo de agregação torna-se vantajoso para o núcleo da rede onde diversos fluxos podem se beneficiar de um canal agregado.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

A arquitetura de Comutação com Serviços Integrados - Comutação IS - foi proposta neste artigo. As *características* da arquitetura foram projetadas com o objetivo de integrar o controle de QoS do modelo IIS e as necessidades dos estilos RSVP com a criação de caminhos comutados com rótulos roteados no nível de enlace.

O desempenho da nova arquitetura foi investigado em *simulações* que reproduziram os resultados obtidos na literatura. O problema de escassez de rótulos pode ser reduzido pela variação dos parâmetros do comutador, mas essas mudanças exercem impacto negativo na porcentagem de pacotes comutados e na frequência de atualização das tabelas de comutação.

A agregação de canais virtuais é fundamental para conexões compartilhadas pois reduz a escassez de rótulos e melhora a comutação de pacotes e frequência de atualização.

A implementação de agregação de VC em comutadores com filas nas interfaces de saída se mostra viável pois os resultados indicam que sob condições de tráfego pesado o desempenho não é degradado em relação aos comutadores com filas nas interfaces de entrada [15].

Um Comutador IS com a característica de comutação inteligente pode operar com várias funções na rede. O equipamento de ligação para redes periféricas ao núcleo da rede (*backbone*) pode atuar com fluxos FT2 ou FT3, enquanto que o comutador pertencente ao *backbone* pode operar com fluxos FT3 ou FT4. O Comutador IS pode operar com qualquer tipo de fluxo nos pontos citados, e até mesmo definir um fluxo FT1 no núcleo da rede.

## 4.5 Suporte ao protocolo RSVP

A arquitetura do modelo de Comutação IS modifica o controle IP para permitir o tratamento de mensagens de controle. Pacotes contendo estas mensagens são identificados e não comutados, ou seja, as mensagens são enviadas via canal padrão para o tratamento no nível de rede. Com esse tratamento, as mensagens PATH criam um caminho, utilizando a variável PHOP, onde as mensagens RESV requisitam recursos em sentido inverso.

Um fluxo RSVP é associado a uma fonte que envia dados a um identificador de sessão. Uma sessão pode conter vários fluxos (originados de várias fontes) sendo enviados a um conjunto de receptores. A reserva é realizada de acordo com o estilo de reserva escolhido, podendo ser exclusiva (estilo FF) ou compartilhada (estilo WF ou SE). No estilo compartilhado, uma conexão deve ser estabelecida de modo a agregar vários fluxos de uma mesma sessão.

Para agregação, é necessário dispor de conexões multiponto-multiponto onde vários endereços fontes são associados a um único canal virtual com compartilhamento de banda. No *IP Switch* e no padrão ATM, isto não pode ser implementado pois cada par fonte/destino representa um fluxo diferente (pares de endereços distintos) e logo são comutados em canais diferentes, neste caso não há como multiplexar as células em um único canal virtual. Os estilos compartilhados são normalmente suportados pela comutação IS devido ao suporte de agregação de tráfego de diferentes canais virtuais nos comutadores com filas nas interfaces de saída. Em conexões WF, a máscara de endereços é definida de forma a aceitar o recebimento de pacotes de qualquer fonte.

O objeto utilizado pela Comutação IS para estabelecer canais comutados com QoS é denominado RSVP\_LABEL (Figura 12) e será enviado através da família de mensagens PATH e RESV (incluindo as de erro e liberação de conexão). Quando uma mensagem RESV chega à rede de rútolos, o controle IP escolhe um canal virtual para recepção do fluxo de dados RSVP e monta o objeto com a identificação do fluxo (variáveis de estado FT) e o rótulo associado ao canal virtual. O controle IP faz as reservas necessárias para o tratamento do fluxo com a QoS requisitada e envia o objeto dentro da mensagem RESV ao seu vizinho superior.

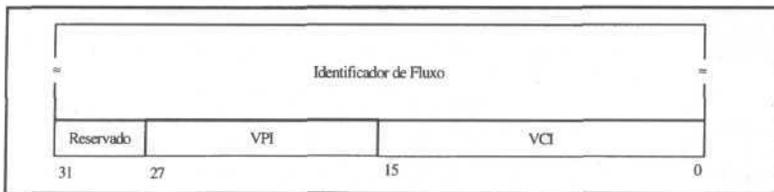


Figura 12: Estrutura do objeto para distribuição de rótulos

## 4.6 Resultados da simulação

A Figura 13 apresenta a comparação dos resultados obtidos com a utilização dos tipos de fluxos FT2 e FT3 para duas configurações diferentes de parâmetros de classificação de fluxos. Como a agregação é realizada por pares de domínios IP no FT3, ao invés de pares de máquinas em FT2, a utilização de canais virtuais é menor. Nas simulações foi obtido um resultado médio de quase 25% de agregação de canais virtuais no caso do fluxo FT3 quando comparado com a estratégia FT2.

Para os fluxos com QoS, a amostra de tráfego retirada da Internet inclui fluxos de vídeo e áudio que foram tratados pelo simulador como fluxos candidatos a qualidade de serviço

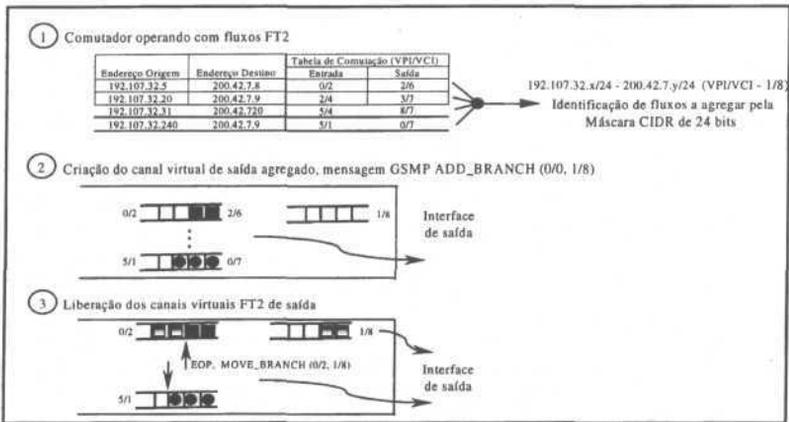


Figura 10: Mudança consistente de política de agregação

A agregação do tráfego de vários canais virtuais provoca o problema de intercalação das células de diferentes fluxos. A Figura 11 mostra esse problema e a solução com o uso de comutadores com filas nas portas de saída. A comutação IS utiliza para solução deste problema a reordenação dos quadros AAL5 em filas divididas por VPI/VCI de entrada. Com esse processo, todas as células de um quadro AAL5 proveniente de um canal virtual são armazenadas em sua respectiva fila até que a última célula seja recebida (a última célula de um quadro AAL5 é marcada com um bit especial no cabeçalho ATM).

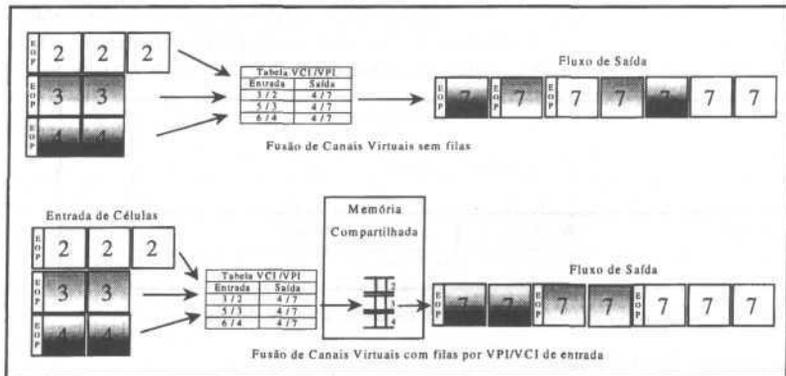


Figura 11: Intercalação de células e filas para reordenação

O uso de comutadores com filas nas interfaces de saída acarreta atraso nos fluxos de células pois é necessário reagrupar todo quadro AAL5. Porém, resultados da literatura demonstram que, mesmo se a carga de operação de um comutador aumentar acima de 70%, não há aumento significativo do atraso nem das rajadas [15].

Comutação IS no uso de identificadores e na porcentagem de comutação ao obtido nas arquiteturas orientadas a topologia.

### 4.3 Gerenciamento de conexões

A Comutação IS propõe a utilização do **IFMP** [14] (*Ipsilon Flow Management Protocol*) como mecanismo de distribuição de rótulos para fluxos sem QoS. Para fluxos com QoS o protocolo **RSVP** é utilizado. Neste caso, é necessária a definição de um novo tipo de mensagem **IFMP** cujo conteúdo será idêntico aos transportados pelo objeto **RSVP** para distribuição de rótulos.

Desta forma, quando o Comutador IS identificar um fluxo, deve enviar uma mensagem **IFMP\_LABEL\_REQUEST** para o vizinho superior, este deverá enviar as células pelo **VPI/VCI** solicitado. O Comutador IS armazena as variáveis de estado do fluxo reconhecido. Na interface de saída, quando a mensagem **IFMP\_LABEL\_REQUEST** chegar para aquele fluxo, o Comutador IS deve enviar as células pelo **VPI/VCI** especificado e solicitar ao protocolo **GSMP** a ligação dos canais virtuais de entrada e saída do fluxo.

O Comutador IS envia uma mensagem **GSMP\_ADD\_BRANCH** ao *hardware* para que estabeleça a conexão. Se mais mensagens **IFMP** chegarem especificando o mesmo canal virtual de entrada então as mensagens seguintes de **ADD** vão estabelecer novos ramos da mesma conexão. Esta característica implementa o suporte a *multicast* e cada ramo pode ser especificado com níveis diferentes de QoS. Os ramos das conexões podem ser modificadas (inclusive QoS) a qualquer momento com o uso da mensagem **GSMP\_MOVE\_BRANCH**.

Na desativação das conexões, seja por *timeout* ou por mensagem de protocolo, as seguintes mensagens **GSMP** podem ser utilizadas: (1) **DELETE\_BRANCH** para remover um ramo individualmente ou (2) **DELETE\_TREE** para remover todos os ramos de uma conexão.

### 4.4 Comutação Adaptativa

Para implementar a agregação por topologia os parâmetros de classificação de fluxos devem ser ajustados de forma a se adaptar às mudanças nos padrões de tráfego muito comuns na história da Internet e de certa forma esperada com a introdução de tráfego sensível a QoS.

Deste modo, o Comutador IS é proposto como um equipamento com recursos de adaptação capaz de modificar sua operação de acordo com o volume de tráfego sustentado e a necessidade por canais virtuais. O Comutador IS pode iniciar sua operação com um tipo de tráfego menos granulado, **FT2** ou mesmo **FT1**, identificando fluxos com QoS via **RSVP**.

Em determinado momento, baseado no limite de canais virtuais utilizados, o Comutador IS pode modificar a sua operação para utilizar fluxos **FT2** agregados ou com maior grau de granulação. Para operar desta maneira a Comutação IS define políticas de utilização dos canais virtuais.

A migração de estratégias pode ser implementada através da mudança na agregação e tamanho dos prefixos de endereços **CIDR** utilizados pelos fluxos que são obtidos nas tabelas de rotas da camada de rede. Na operação do comutador assume-se que estas informações são distribuídas de forma consistente na rede e que a formação de rotas cíclicas é tratada pelo protocolo IP (campo **TTL**). Para executar a agregação, as atualizações das tabelas do sistema devem ser feitas de forma consistente, evitando-se intercalação de células. A troca da política de utilização dos canais virtuais deve ser feita de forma a assegurar a integridade de envio. Estudos posteriores são necessários de modo a se avaliar as possibilidades de inconsistência ou instabilidade que podem ser introduzidas na rede com a troca de política. A Figura 10 mostra os passos que devem ser executados para implementar a operação de agregação de vários fluxos em um único canal virtual.

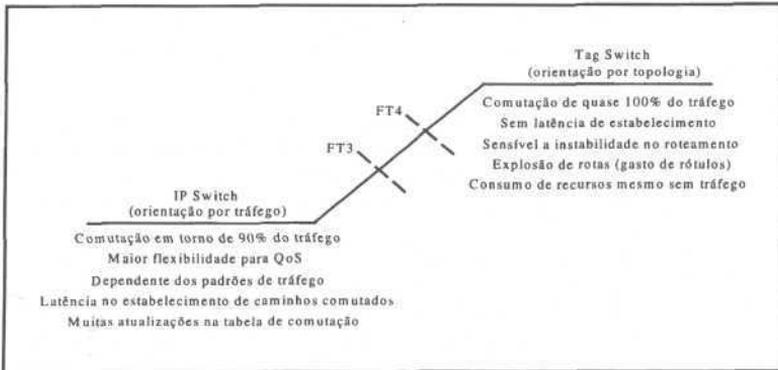


Figura 8: Orientação baseada em tráfego x topologia

Além disso, a agregação aproxima o desempenho da Comutação IS quando comparada ao desempenho das arquiteturas orientadas por topologia, pois proporciona um aumento da porcentagem de tráfego comutado pois uma maior quantidade de tráfego esporádico pode ser capturada por essas conexões. Os fluxos agregados por topologia procuram aproximar os dois tipos de comutação aproveitando as principais características positivas. Os efeitos da agregação podem ser comprovados em *simulação*.

O novo tipo de fluxo (FT3) se baseia em prefixos de domínios B? com a definição de máscaras de endereço CIDR aplicadas a origem e destino. O fluxo FT3 permite que qualquer máquina de um mesmo domínio IP (ou agregado CIDR) envie dados por um único canal virtual associado ao fluxo agregado. Para tanto, basta a definição de prefixos adequados. Os prefixos de origem e de destino devem ser mantidos nas variáveis de estado do controle IP associadas a um fluxo FT3 (Figura 9), além de alguns campos do cabeçalho IP (TTL - *Time to Live*, por exemplo).

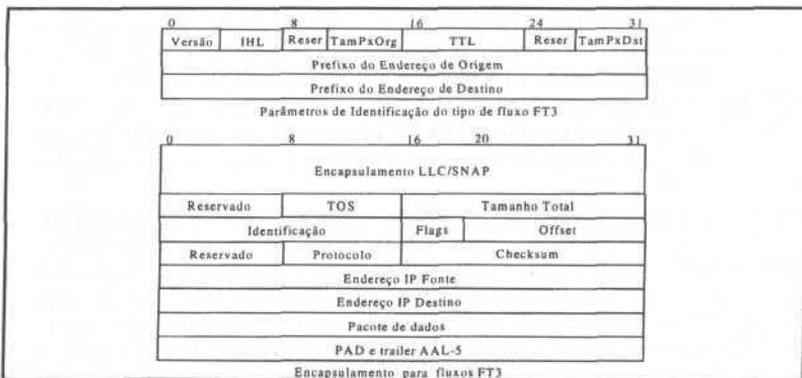


Figura 9: Definição do tipo de fluxo FT3

A definição FT3 pode ser utilizada para a implementação do tipo de fluxo FT4. Para tanto, basta a definição do prefixo de origem com tamanho de 32 bits e a especificação normal do endereço ou domínio de destino. A definição do fluxo FT4 aproxima o desempenho da

FTO (Figura 7). Porém essas alterações acarretam em um aumento proporcional no número de eventos internos ao comutador (abertura e fechamento de conexões) que a maioria dos comutadores não consegue suportar [17].

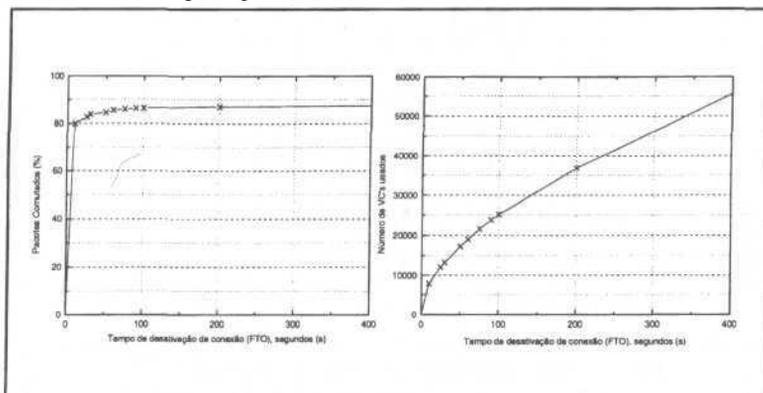


Figura 7: Efeito da variação do tempo de desativação de conexões (FTO)

Devido ao problema de escassez de rótulos detectado por simulação, torna-se necessária alguma política para redução do número de canais virtuais ativos pois a simples alteração de parâmetros de comutação se mostrou ineficiente.

## 4.2 Agregação de fluxos

A Comutação IS propõe fluxos agregados por topologia para reduzir o número de caminhos comutados criados pela demanda de tráfego. Essa característica de agregação por topologia reduz os problemas de dependência aos padrões de tráfego, velocidade de atualização da tabela de comutação e latência de estabelecimento de conexões, enquanto aumenta a porcentagem de tráfego comutado.

Novos tipos de fluxos com agregação por topologia - FT3 e FT4 - são propostos para diminuir o número de conexões utilizadas na comutação e permitir que os canais virtuais economizados sejam utilizadas para fornecer QoS sem sobrecarregar o sistema. O tipo de fluxo FT3 utiliza políticas de agregação por domínios IP ou por prefixos de endereços (agregados CIDR [16]) para associar um maior número de fluxos a um único canal virtual. O tipo de fluxo FT4 representa um grau maior de agregação, associando todo tráfego com um único destino a um único canal virtual. O FT4 aproxima-se mais da operação de comutadores orientados a topologia.

Como sugere a Figura 8, a definição em uma arquitetura orientada por tráfego de uma política de classificação de fluxos que considere informações sobre topologia pode aproximar o desempenho dos dois tipos de arquiteturas de comutação. Com a variação dos valores de critério de classificação, *timeout* de conexões e número de VC's usados em simulação, essas relações foram avaliadas na proposta do novo modelo de comutação.

Arquiteturas orientadas por tráfego não atingem a porcentagem de pacotes comutados como nas orientadas por topologia. Porém, a orientação por tráfego apresenta melhor desempenho para fluxos com QoS. A orientação por topologia pode exaurir recursos de rede pois pode manter conexões abertas sem tráfego (nem todas as rotas possuem dados). A política de agregação diminui a quantidade de canais virtuais utilizados pelo comutador.

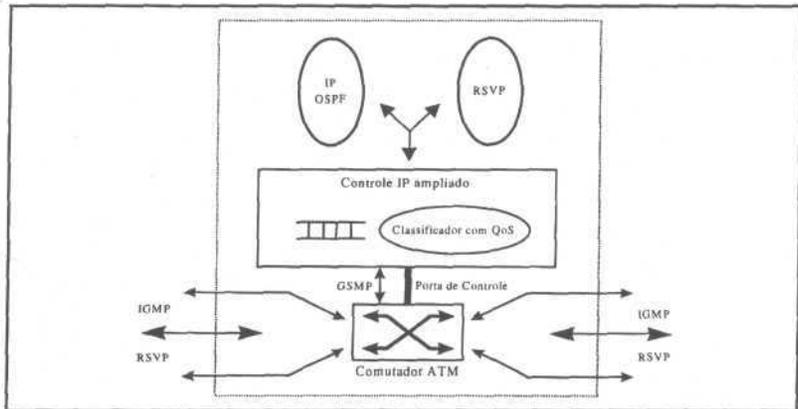


Figura 6: Arquitetura IS em um comutador por rótulos

O protocolo GSMP é utilizado para controlar o comutador ATM de modo a estabelecer conexões, controlar o escalonamento e suportar níveis diferenciados de QoS. Desta forma a sinalização ATM é substituída pelo controle IP/RSVP que estabelece conexões *multicast* com níveis variados de QoS por ramo da malha de difusão, resolvendo o problema de heterogeneidade e comportamento dinâmico de tráfego.

A Comutação IS busca se aproximar do desempenho das arquitetura orientadas por topologia propondo políticas de agregação de fluxos para redução do uso de canais virtuais devido a escassez de rótulos sem perder a flexibilidade de permitir o estabelecimento de canais virtuais individuais para fluxos com QoS.

#### 4.1 Necessidade de agregação

Como demonstrado em simulação [12], arquiteturas de comutação por rótulos podem demandar uma quantidade considerável de rótulos. Esse recurso é escasso nas redes ATM e limitado aos campos VPI/VCI. Este problema é intensificado em redes com tráfego intenso. Nessas redes, o número de eventos para estabelecimento e fechamento de conexões também pode se tornar muito grande. Por esses motivos, defende-se que as arquiteturas orientadas por fluxo não escalam bem em grandes redes [8].

O simulador utilizado neste trabalho caracteriza um fluxo pela definição do seu tipo (FT2 por exemplo), um valor de *flow timeout* (FTO) para desativar conexões ociosas e um critério de classificação X/Y (um fluxo é comutado se X pacotes são recebidos em Y unidades de tempo). Tomando-se como base a análise realizada em artigos de simulação da literatura [11,12] uma configuração típica dos valores de operação de um comutador (FT2, X/Y=5/40 e FTO = 90s) e com padrões de tráfego de rede atuais (dezenas de *Megabits*) são utilizados por volta de 30.000 canais virtuais para se acomodar todos os fluxos comutados. Esse valor representa quase metade do número de VCIs disponíveis no padrão ATM.

Os resultados são apenas satisfatórios com os atuais padrões de tráfego. Porém, a utilização do tipo de fluxo FT2 não será adequada com a perspectiva de aumento de tráfego nas redes para os próximos anos e a demanda por serviços com características de tempo real dos novos aplicativos que surgem.

A redução na quantidade de rótulos utilizados pode ser obtida pela alteração dos parâmetros X e Y (aumento de X ou redução de Y) e, principalmente, com a diminuição do

A primeira solução não é eficiente pois a atribuição de um caminho virtual a um agregado VP pode desperdiçar muitos canais virtuais. Além disso, essa solução representa apenas uma forma de organizar o tráfego nos campos VPI/VCI e não uma agregação real.

A segunda solução desperdiça parte da largura de banda pois utiliza alguns bits da célula ATM para multiplexar os canais e apenas um pequeno número de conexões podem ser multiplexadas. Além disso, essa camada não é utilizada como padrão para envio de dados.

A camada de adaptação AAL5 é amplamente utilizada para transmissão de dados devido ao seu método mais eficiente de encapsulamento. Porém, a ALL5 não é capaz de multiplexar o tráfego proveniente de vários canais virtuais. Essa característica causa o problema de intercalação de células: se células de diferentes fluxos forem misturadas em um mesmo canal virtual não há como demultiplexá-las posteriormente. Desta maneira, os rótulos não poderiam ser associados a fluxos agregados. A terceira solução utiliza uma modificação no envio das células de forma a habilitar a camada AAL5 multiplexar canais virtuais. As células que formam um quadro AAL5 só são transferidas pela interface de saída em bloco após a chegada da última célula que forma o quadro e que é marcada com o bit de término AAL5. O método de armazenamento das primeiras células (em memórias nas portas de entrada ou de saída) e o mecanismo de agregação é objeto de pesquisas neste artigo pois suas desvantagens (atraso provocado pela reordenação AAL5) devem ser superadas [15].

### 3.2 Protocolo de gerenciamento de comutação

O protocolo GSMP (*General Switching Management Protocol*) permite ao controle de uma arquitetura MPLS [9] estabelecer e gerenciar os circuitos na malha de comutação ATM. Entre outras funções, o GSMP permite a obtenção de estatísticas de uso do canal de comunicação, a requisição de parâmetros de configuração do comutador e a notificação sobre ocorrência de eventos assíncronos (erros em portas). O protocolo GSMP torna o controle do comutador independente do *hardware*. Desta forma a complexa sinalização ATM pode ser substituída pelo controle direto da camada de rede sobre a comutação.

A versão 3.0 do protocolo GSMP [10] oferece o suporte a vários modelos de serviços, incluindo: IIS e ATM. Os parâmetros de QoS podem ser configurados pelo envio de mensagens GSMP de acordo com o modelo e pode ser associado individualmente a cada ramo da malha de difusão. A associação individual soluciona os problemas de heterogeneidade e comportamento dinâmico. Os parâmetros do comutador como tamanho de filas e prioridades são modificados de acordo com os parâmetros de QoS enviados pelo GSMP.

### 4 Comutação Adaptativa com Serviços Integrados

O modelo de "Comutação com Serviços Integrados" - Comutação IS [17] (*Integrated Services*) - é proposto com o objetivo de unir o conceito de comutação por rótulos com os mecanismos do modelo IIS. O objetivo desta proposta é elaborar um mecanismo integrado de controle de tráfego baseado no modelo IIS com a comutação de fluxos na camada de enlace.

O modelo de Comutação IS utilizou como base a arquitetura orientada por fluxos *IP Switch* [14]. A Comutação IS é orientada por fluxos mas integra características de arquiteturas orientadas por mensagens de controle para estabelecimento de conexões com QoS e de arquiteturas orientadas por topologia devido a políticas de agregação propostas neste artigo.

Como mostra a Figura 6, o modelo proposto possui algumas modificações no módulo de controle IP para suportar o modelo IIS, principalmente: (1) uma interface com o protocolo RSVP foi adicionada para suportar classes de serviço e estabelecimento de conexões com QoS; (2) reconhecimento de mensagens de controle pelo classificador; e (3) o escalonamento integrado entre as camadas de enlace e de rede.

Vários níveis de agregação de fluxos podem ser definidos em MPLS, como exemplo: FT1, pacotes que possuem endereços IP e portas TCP/UDP idênticas; e FT2, pacotes que possuem somente endereços IP idênticos.

O estabelecimento de conexões em comutadores por rótulos pode ser realizada por três modos [8]: (1) orientado por tráfego ou fluxos de dados, conexões abertas com o aparecimento de tráfego; (2) orientado por topologia, conexões abertas para todas as possíveis rotas informadas; e (3) orientado por mensagens de controle, conexões abertas por tráfego de controle. Cada modo possui características próprias e vantagens que são exploradas na arquitetura proposta neste trabalho.

### 3.1 Comutação por rótulos sobre ATM

Dois problemas adicionais ao gerenciamento de conexões IIS foram identificados com MPLS sobre ATM: (1) escassez de rótulos; e (2) intercalação de células (agregação do tráfego de vários canais virtuais).

Os rótulos de comutação ATM são codificados nos campos de identificação de canais virtuais VPI (*Virtual Path Identifier*) e VCI (*Virtual Channel Identifier*) no cabeçalho das células. Os rótulos são limitados ao tamanho máximo de 28 bits entre elementos de rede e a hierarquia de rótulos se restringe a dois níveis (VPI e VCI). O tamanho desses campos causa um grave problema de escassez de rótulos em ATM, que é agravado pela operação compartilhada do comutador: padrão ATM Fórum, MPLS, circuitos dedicados, etc. Este método de operação é conhecido como *ships-on-the-night* e divide o espaço de rótulos (VPI/VCI) entre os diversos modos. O protocolo RSVP exige mais identificadores para seus fluxos com QoS agravando ainda mais o problema de escassez de rótulos.

A Figura 5 mostra os dois tipos de comutação existentes na tecnologia ATM. Utilizando comutadores com esses tipos de comutação existem três maneiras de se implementar agregação de conexões: (1) é possível a utilização de roteamento de caminhos virtuais (VPI) para agregar o tráfego em diferentes canais virtuais (VCI) - denominado de comutação VP; (2) utilizar a AAL3/4 (*ATM Adaptation Layer*) que permite multiplexar fluxos; ou (3) usar a camada AAL5 com comutadores que armazenam células nas portas de entrada ou saída - denominado de comutação VC.

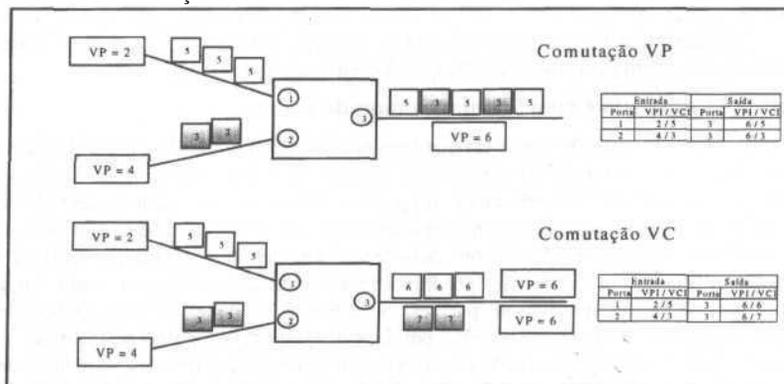


Figura 5: Tipos de Comutação VCxVP

O protocolo RSVP permite, a qualquer momento, mudanças nas reservas de recursos em uma sessão através da alteração dos valores de tráfego e de QoS transportados nas mensagens PATH e RESV. O padrão ATM UNI 4.0 não suporta essa característica. Caso um novo valor de QoS seja necessário, um canal virtual é estabelecido para suportar a nova requisição. O processo de estabelecimento de canais virtuais ATM envolve operações complexas que demandam um tempo substancial. Além disso, o fechamento do canal virtual antigo pode provocar instabilidade no serviço oferecido e problemas na abertura do novo. Essa situação é conhecida como problema de comportamento dinâmico de reservas com QoS.

Esses problemas aumentam as chances de congestionamento pois criam redundância no envio. Soluções como limitação de heterogeneidade ou reservas homogêneas não são ótimas pois duplicam o tráfego na rede ou impedem a garantia de oferecimento de vários níveis de QoS [6]. A natureza orientada por conexão da tecnologia ATM dificulta o suporte aos padrões de tráfego que estão surgindo com demanda de QoS dinâmica. Tendências apontam para a modificação do padrão ATM para suportar conexões mais flexíveis com controle das camadas superiores (rede e transporte) e agregação de tráfego de vários canais virtuais [8].

### 3 Comutação com rótulos

O conceito de comutação por rótulos de roteamento (MPLS - *MultiProtocol Label Switching* [7]) tem como objetivo integrar (Figura 4) a funcionalidade e flexibilidade da camada de rede (utilizando informações de roteamento) com a agilidade e a capacidade de tráfego da camada de enlace (empregando comutadores de alta velocidade).

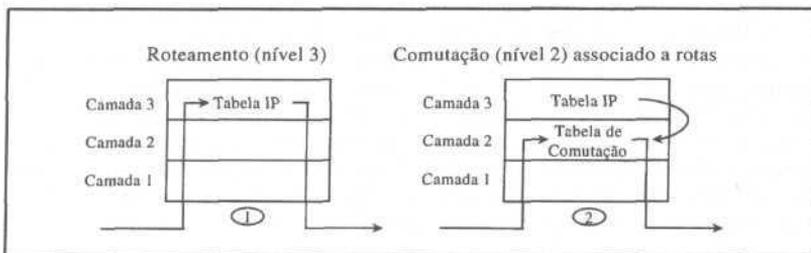


Figura 4: Roteamento e comutação associadas a rotas

As informações de roteamento da camada de rede são associadas a identificadores nos quadros/células de enlace nos quais os pacotes de um fluxo são encapsulados. Denominados de rótulos, os identificadores de fluxo são números inteiros de tamanho fixo. Os rótulos são codificados após ou no próprio cabeçalho de enlace e usados como índices nas tabelas de comutação. Os rótulos comutam diretamente as células para suas rotas definidas pela camada de rede. Os pacotes podem ser enviados diretamente no nível de enlace através da rede de comutadores sem sofrer processamento na camada de rede. Assim, o encaminhamento de pacotes fica completamente independente da função de determinação de rotas.

Desta forma, as rotas são determinadas por consultas simples e rápidas às tabelas de comutação indexadas pelos rótulos, ao contrário do roteamento tradicional, onde as consultas são operações complexas. A consulta a essas tabelas resulta na rota pela qual os fluxos de rede devem ser enviados. Esse procedimento evita o retardo de análise dos cabeçalhos dos pacotes no nível de rede.

<sup>2</sup>Em grandes tabelas de roteamento, quando os prefixos de endereços são longos, as consultas envolvem comparações que consomem um tempo substancial na análise dos pacotes, retardando o envio.

maneira implícita (WF), na qual todas as fontes são selecionadas. A escolha de fontes permite que um receptor escolha alguns fluxos dentre todos os oferecidos em uma sessão.

O modelo IIS propõe a utilização de classes de serviços para fornecer controle de QoS à arquitetura IP. Existem duas principais classes de serviço [3]: (1) a classe de serviço garantido oferece QoS quantitativa e previsível; e (2) a classe de serviço de carga controlada oferece QoS qualitativo sem previsão. Essas classes dependem do protocolo RSVP para envio de informações de controle. As classes de serviço definem características de QoS em forma de parâmetros, o comportamento do policiamento de fluxos e a formatação de tráfego que excede o limite estabelecido.

### 2.3 Serviços Integrados IP sobre ATM

Na adaptação do modelo IIS sobre ATM, o problema chave surge nos diferentes modos de sinalização adotados pelo protocolo RSVP e pela arquitetura ATM. Esse problema divide-se em duas partes: (1) gerenciamento de conexões e (2) a tradução dos parâmetros de tráfego e de QoS [6]. O gerenciamento de conexões determina em quantos canais virtuais e como os fluxos RSVP serão suportados. Por outro lado, a tradução de QoS se preocupa com o suporte das classes de serviço do modelo IIS por parâmetros ATM. Este artigo dá ênfase ao gerenciamento de conexões. Outros trabalhos enfocam o segundo problema [13].

O gerenciamento de fluxos RSVP em conexões ATM divide-se em dois tipos [6]: (1) conexões de dados; e (2) conexões de controle. Na arquitetura proposta, as mensagens de controle do RSVP (PATH, RESV) são enviadas através de conexões preestabelecidas.

As soluções existentes para tratar as conexões de dados abordam o problema por dois aspectos: (1) Heterogeneidade, especifica diferentes níveis de QoS suportados em uma sessão e quantos canais virtuais são necessários; e (2) Comportamento dinâmico de QoS, refere-se ao comportamento em relação à alteração de QoS requisitada e aos membros do grupo receptor.

Mesmo com a UNI 4.0, a tecnologia ATM só suporta um único nível de QoS em seus canais virtuais *multicast*. Essa característica resulta em um problema denominado de heterogeneidade. O problema de heterogeneidade provoca redundância de dados que trafegam pela rede, pois um canal virtual distinto deve ser aberto para cada diferente nível de QoS requisitado por um grupo de receptores. Na Figura 3, a região sombreada representa um caminho comum aos canais virtuais de uma mesma sessão. Por essa região, cópias idênticas de pacotes são enviadas para cada ramo de receptores (R1, R2 e R3) com QoS diferenciada.

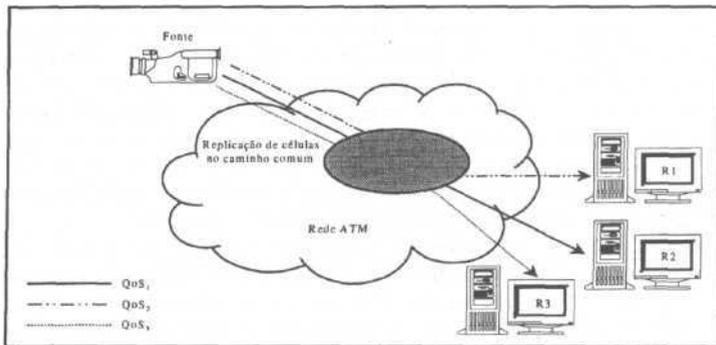


Figura 3: Tráfego replicado em uma sessão RSVP para várias QoS

## 2.2 Modelo de reservas

O RSVP utiliza objetos encapsulados nas mensagens do protocolo para especificar os valores de tráfego e QoS requisitados por receptores, como também, os valores de tráfego oferecidos pelas fontes. As principais mensagens associadas ao RSVP são as mensagens de caminho (PATH) e as mensagens de reserva (RESV).

As mensagens PATH têm como função estabelecer o caminho para envio dos dados da fonte até os receptores. Esse caminho é construído através do campo PHOP (*previous-hop*) nas mensagens PATH [3]. Este campo contém o endereço da máquina adjacente que envia a mensagem PATH e é armazenado localmente para que as mensagens de reserva possam ser transmitidas em sentido inverso a esse fluxo. As mensagens PATH transmitem informações sobre o tráfego gerado pela fonte e os níveis de QoS que a rede pode oferecer aos receptores.

As mensagens RESV são utilizadas para estabelecer e manter reservas de recursos nos roteadores ao longo do caminho das mensagens PATH. As mensagens RESV informam a caracterização de tráfego e de QoS requisitada pelos receptores e definem estilos de reservas que especificam quais fontes devem ser selecionados para que os respectivos tráfegos recebam um tratamento com QoS. As mensagens RESV são transmitidas do receptor à fonte, seguindo a orientação ao receptor do RSVP, e são enviadas de forma periódica mantendo a característica *soft-state*. A Figura 2 mostra um exemplo de mensagens em uma sessão RSVP.

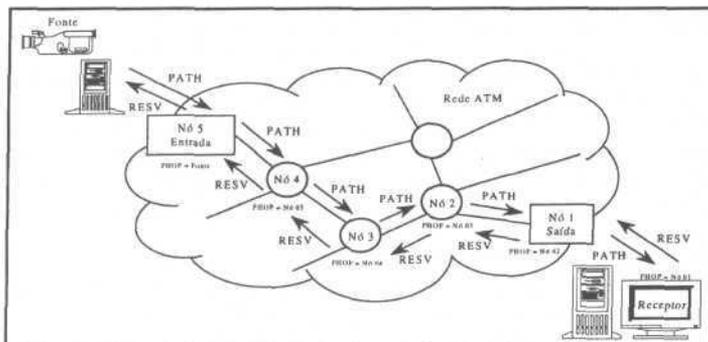


Figura 2: Fluxo de mensagens RSVP

O RSVP define estilos de reservas (Tabela 1) para caracterização do tráfego de uma sessão com objetivo de melhor adaptação dessas reservas às características de transmissão. Os estilos de reservas oferecem opções aos fluxos na seleção das fontes de transmissão e do modo de compartilhamento do canal entre as fontes.

Seleção da fonte	Reservas	
	Exclusivo	Compartilhado
Explícita	Estilo <i>Fixed-Filter</i> (FF)	Estilo <i>Shared-Explicit</i> (SE)
Implícita	Não definido	Estilo <i>Wildcard-Filter</i> (WF)

Tabela 1: Estilos e Atributos de Reserva do RSVP

O modo de compartilhamento determina se as reservas serão realizadas de forma exclusiva (FF) para cada fonte escolhida na sessão ou se a reserva do canal será compartilhado (SE ou WF) por todas as fontes. A escolha das fontes que transmitem para uma sessão pode ser realizada de maneira explícita (FF ou SE), selecionando as fontes nominalmente, ou de

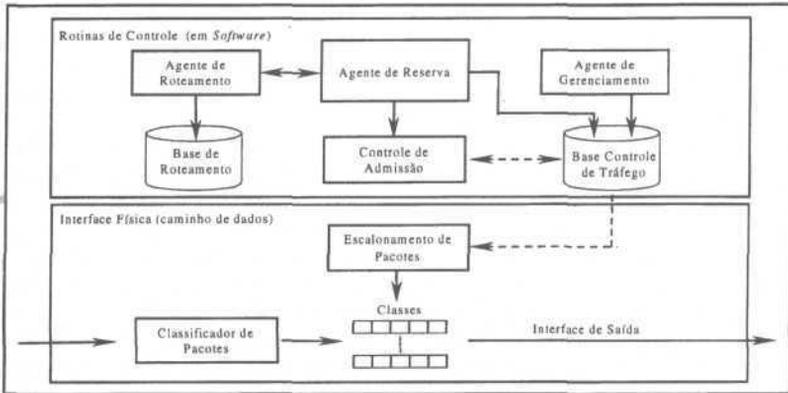


Figura 1: Modelo de Referência para Roteadores

O esquema do modelo no roteador tem duas divisões funcionais: (1) o caminho de dados e (2) as rotinas de controle. A primeira recebe e envia os dados de acordo com a política definida localmente em cada roteador e a última, executada em segundo plano, modifica as bases de dados do modelo e controla o caminho de dados. De acordo com classes de serviço, um roteador classifica localmente os pacotes dividindo-os em filas onde podem ser reordenados e reenviados de maneira que a QoS seja mantida para os fluxos prioritários.

As rotinas de controle são formadas por três agentes: (1) roteamento, faz interface com o protocolo de roteamento para obtenção de endereços; (2) reserva, implementa o protocolo de configuração de reservas; (3) gerenciamento, de forma local, implementa a política de compartilhamento de canal e modifica os parâmetros da política de controle de admissão.

## 2.1 Protocolo de reserva de recursos

O protocolo RSVP, padronizado pelo IETF [2], é o mecanismo de configuração de reservas (agente de reserva) segundo o modelo IIS. Um aplicativo pode utilizar o protocolo RSVP para requisitar à rede um serviço com controle de QoS. O RSVP pode ser usado por um roteador para receber as requisições de serviços dos aplicativos através da rede. Informações de reservas são transportadas em mensagens do protocolo e ajudam os mecanismos de controle de tráfego no estabelecimento e manutenção das variáveis de estado destas reservas.

O protocolo RSVP opera em modo simplex, isto é, as reservas de recursos são estabelecidas em apenas uma direção, possibilitando transmissão de dados em apenas um sentido (tanto no caso *unicast* como *multicast*). O protocolo possui a característica de ser orientado ao receptor, ou seja, o receptor é encarregado de realizar as reservas no sentido inverso do tráfego dos pacotes de dados. O RSVP, como o IP, possui a característica *soft-state* através de atualizações periódicas nos estados de controle. Isso permite a mudança dinâmica no conjunto de fontes ou dos níveis de QoS requisitados.

O protocolo RSVP utiliza o conceito de sessão [2] como sendo um fluxo de dados que possui um identificador composto pelo endereço de destino, a identificação do protocolo de transporte e, opcionalmente, a porta de destino na camada de transporte. O campo de identificação de sessão permite a escolha na recepção dos fluxos de uma sessão. Uma sessão RSVP pode possuir diversos fluxos caracterizados como uma fonte enviando dados a um conjunto de receptores.

de tempo real e controle de QoS à Internet. Este modelo adiciona novos serviços para tratamento de tráfego na arquitetura IP, além de manter o atual serviço de envio sem *confiabilidade*. O protocolo RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) [2,3] foi padronizado como o mecanismo de sinalização para troca de informações de controle sobre requisições de QoS e níveis de recursos entre os roteadores, fontes e receptores IP.

A tecnologia ATM [4,5] foi escolhida e adotada pela indústria como a forma de implementar a infra-estrutura das redes RDSI/FL (Rede Digital de Serviços Integrados/Faixa Larga) sendo padronizada como meio de transmissão. Esses fatos transformaram a tecnologia ATM em um padrão de fato para integrar em um só meio o envio de áudio, vídeo e dados.

Nesse contexto, a implantação de novos serviços para a arquitetura IP podem se utilizar das facilidades de QoS oferecidas pelas redes ATM como meio de enlace segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Entretanto, a interação entre IP e ATM é potencialmente complexa [5]. Existem diferenças de operação entre as duas arquiteturas, principalmente no modo de oferecer QoS (modelos de serviço) e gerenciamento de conexões [6].

O novo modelo de comutação MPLS (*MultiProtocolLabel Switching*)<sup>1</sup> [7,8] é proposto pelo IETF (*Internet Engineering TaskForce*) para simplificar a adaptação IP/ATM de forma a utilizar os protocolos da camada de rede para controlar diretamente a comutação sem utilizar a complexa sinalização ATM. Desta forma, a comutação por rótulos surge como uma possível solução para integrar a arquitetura IP com a tecnologia ATM de modo eficiente. Porém, em fase de padronização o modelo sofre de problemas como: escassez de rótulos (espaço limitado para VPI/VCI), suporte ao controle de QoS e instabilidade na mudança de padrões de tráfego.

Este trabalho discute uma arquitetura de comutação para integrar fortemente os mecanismos do modelo IIS com a tecnologia ATM. Esta arquitetura - denominada de Comutação IS (*IntServ*) - utiliza o protocolo GSMP [9,10] (*General Switch Management Protocol*) padrão IETF para controlar o comutador e tornar a implementação independente de *hardware*. A idéia é que a comutação nesta arquitetura seja flexível quanto ao estabelecimento de conexões e adapte-se às mudanças nos padrões de tráfego. A Comutação IS possibilita a agregação de fluxos em vários níveis de granularidade e permite o estabelecimento de conexões através de mensagens de controle RSVP.

Baseada na comutação de fluxos agregados, uma rede de transporte pode ser proposta como um conjunto de comutadores convencionais associados a um roteador clássico que passa a controlar a comutação na camada de enlace. O roteador pode enviar dados de maneira convencional por uma conexão preestabelecida nos comutadores. Porém, o controle no roteador pode definir caminhos comutados para enviar fluxos selecionados por um critério que se adapta às mudanças de tráfego. Os pacotes são enviados de forma otimizada pois não necessitam ser tratados pelo roteamento até alguma mudança na topologia da rede.

A arquitetura proposta é validada através de simulação buscando otimizar a comutação integrada dos modelos de serviço IP e ATM. Foram realizadas simulações e comparações com resultados apresentados na literatura para outras arquiteturas [11,12].

## 2 Modelo de Serviços Integrados à Internet

O modelo de referência IIS [1] implementa um modelo de serviços composto por quatro componentes principais: (1) escalonamento de pacotes; (2) controle de admissão; (3) classificação; e (4) o protocolo de configuração de reservas. A Figura 1 mostra como esses componentes se relacionam em um roteador que suporta o controle de QoS.

<sup>1</sup> Traduzido para o português como modelo de comutação por rótulos

## 6 Referências Bibliográficas

- [1] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "*Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*", IETF RFC 1633, Julho 1994.
- [2] R. Braden, et al., "*Resource ReSerVation Protocol (RSVP) version 1 Funcional Especification*", Internet RFC 2205, Setembro 1997.
- [3] P. White, "*RSVP and Integrated Services in the Internet: A Tutorial*", IEEE Communications, págs. 100-106, Maio 1997.
- [4] W. Fischer, et al., "*Data Communications Using ATM: Architectures, Protocols, and Resource Management*", IEEE Communications, págs. 24-33, Agosto 1994.
- [5] A. Alies, "*ATM Internetworking*" Engineering InterOp, Las Vegas, Maio 1995.
- [6] L. Berger, "*RSVP over ATM Implementation Requirements*", ETF RFC 2380, Agosto 1998.
- [7] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "*Multiprotocol Label Switching Architecture*", IETF DRAFT MPLS WG, work in progress, Agosto 1999.
- [8] A. Viswanathan, et al., "*Evolution of Multiprotocol Label Switching*", IEEE Communications Magazine, págs. 165-173, Maio 1998.
- [9] P. Newman, et al., "*Ipsilon General Switch Management Protocol Specification-version 2.0*", IETF RFC 2397, Março 1998.
- [10] T. Worster, "*A QoS Model for GSMP*", IETF DRAFT GSMP WG, Fevereiro 1999.
- [11] P. Newman, T. Lyon, G. Minshall, "*Flow Labelled IP: A Connectionless Approach to ATM*", IEEE Proc. Infocom, San Francisco, março 1996.
- [12] S. Lin, N. McKeown, "*A Simulation Study of IP Switching*", Proceedings of ACM SIGCOMM, setembro 1997.
- [13] J. Rezende, S. Romano, "*Arquitetura de Integração de Serviços para a Comutação IP*", XVI Simpósio SBRC, Rio de Janeiro, Maio 1998.
- [14] P. Newman, et al., "*IP Switching and Gigabit Routers*", IEEE Communications, págs. 64-69, janeiro 1997.
- [15] A. Schmid, I. Iliadis, P. Droz, "*Impact of VC Merging on Buffer Requirements in ATM Networks*", Conference on High Performance Networking, setembro 1998.
- [16] V. Fuller, et al., "*Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy*", IETF RFC 1519, Setembro 1993.
- [17] C. Pagani, "*Proposta e Análise de uma Arquitetura de Serviços Integrados IP sobre ATM*", Dissertação de Mestrado, FEEC/UNICAMP, Maio 2000.