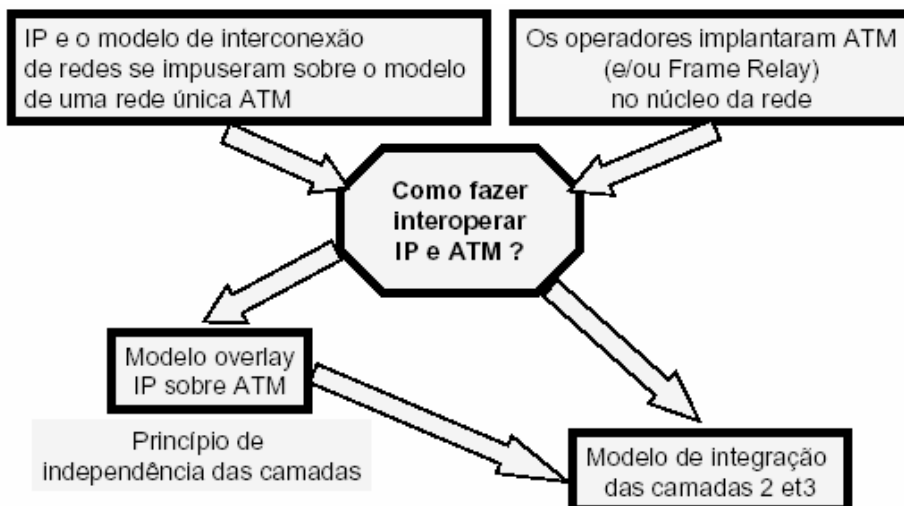


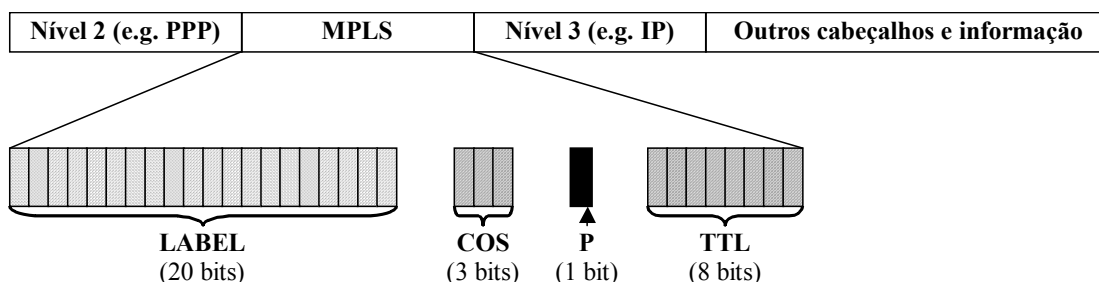
1. MPLS (Multiprotocol Label Switching)

O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) é uma técnica de encaminhamento de pacotes baseado em label, padronizado pelo IETF em <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>. O MPLS é chamado de “multiprotocol” pois pode ser utilizado com qualquer protocolo de nível 3, embora o real interesse seja a utilização do MPLS com tráfego IP.

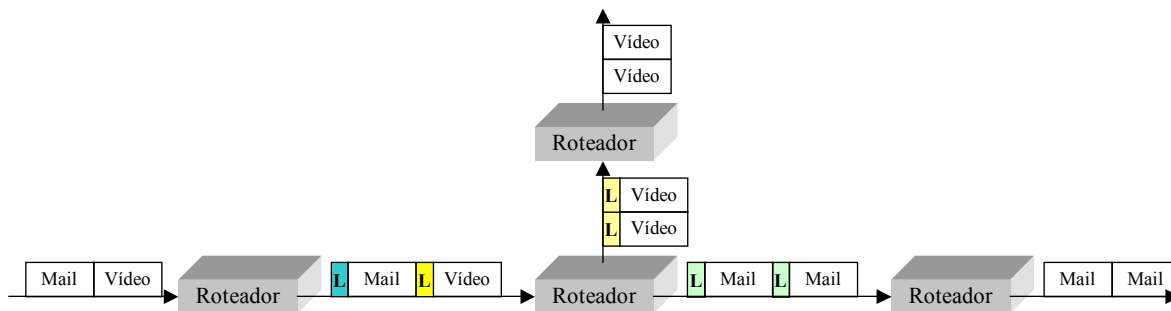
A motivação para a entrada do MPLS pode ser vista na figura a seguir [COU 01], mostrando que ele chegou para facilitar a interconexão de IP em redes ATM.



O MPLS insere um cabeçalho de 32 bits entre o cabeçalho de nível 2 e o cabeçalho de nível 3, como mostra a figura a seguir, portanto, esta técnica pode ser considerada como pertencente ao nível 2,5 do modelo OSI [CRO 00]. O cabeçalho consiste em um label de 20 bits, usado para encaminhamento dos pacotes (da mesma forma que o par VPI/VCI do ATM), um campo de Classe de Serviço (COS) de 3 bits, usado para determinar o tipo de serviço do pacote, um indicador de “*bottom of stack*” de 1 bit, que em “1” indica que este cabeçalho MPLS é o último, e os próximos dados são do pacote original (em caso de tunneling é possível ter cabeçalhos MPLS dentro de cabeçalhos MPLS), e um TTL (*Time to Live*) de 8 bits, usado para evitar loops infinitos na rede, da mesma forma que o TTL do IPv4.



Um roteador MPLS (LSR – *Label Switch Router*) examina somente o label na hora de encaminhar o pacote (através de uma consulta na tabela), descobrindo a porta de saída para a qual o pacote deve ser enviado e o novo label que deve ser colocado no cabeçalho MPLS (que vai fazer sentido no outro roteador do caminho). Essa técnica é mais rápida do que a utilizada nos roteadores tradicionais, que devem analisar todo o cabeçalho de nível 3 e tomar uma decisão baseada em subredes. A figura a seguir ilustra o processo.

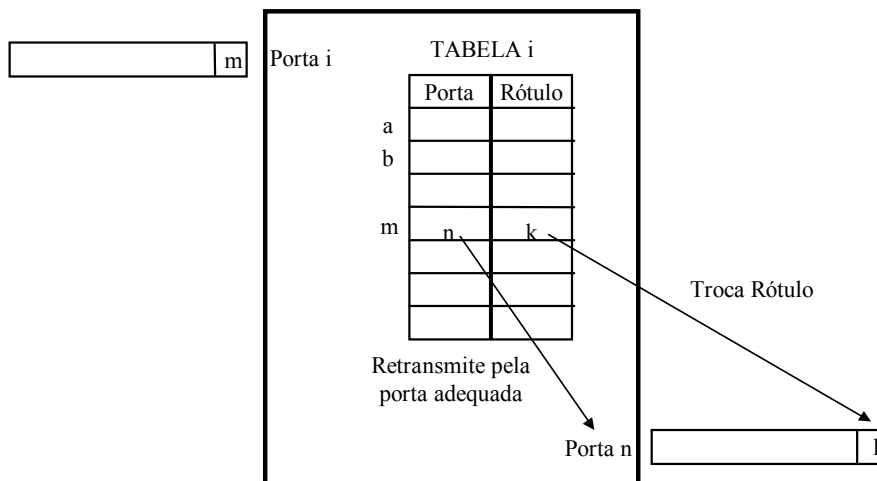


Cada label tem significado local, podendo variar nos diversos nodos do caminho, da mesma forma que o para VPI/VCI das redes ATM. Isso garante um caminho único por onde os pacotes devem passar, permitindo uma garantia de atraso e jitter muito mais precisa do que as técnicas tradicionais utilizadas atualmente na Internet.

Nas técnicas de *label switching* utilizadas pelo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) e Frame Relay, por exemplo, cada nó da rede olha em um rótulo no cabeçalho do pacote que está chegando, e o usa como um índice de uma tabela para determinar a porta de saída do pacote, bem como o novo rótulo que deve ser colocado nele [RFC 2475].

Assim, quando um pacote chega a um comutador, este identifica o caminho que está registrado no seu cabeçalho, e consulta um tabela de acordo com a porta de entrada, para redirecioná-lo a uma porta de saída. Antes da retransmissão, porém, é necessário atualizar o cabeçalho do pacote de acordo com o próximo enlace.

A figura a seguir ilustra a comutação através de rótulo [SOA 95]. Quando o pacote enviado pela porta n (com o rótulo k) chega no outro comutador, o processo é semelhante, ou seja, a tabela da porta por onde chegar a célula será analisada no índice k , retransmitindo a célula pela porta adequada. Esse processo se repete até chegar no destino final.



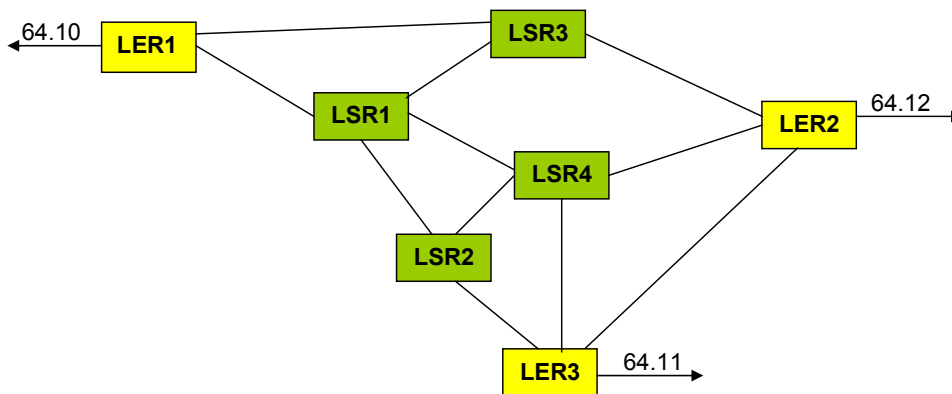
A qualidade de serviço é conseguida por módulos de controle em cada nó da rede. Tais módulos controlam todas as conexões existentes para determinar, entre outras coisas, o momento em que o pacote deve ser encaminhado para atender às necessidades do usuário.

Este modelo permite uma definição precisa das necessidades do fluxo a partir do label, e os recursos são reservados para o agregado de pacotes / células que possuem o mesmo label. Além disso, é possível determinar o caminho através da rede que o conjunto de pacotes deve

passar a fim de conseguir a qualidade solicitada (pois o próprio *label* determina o encaminhamento do pacote) [RFC 2475].

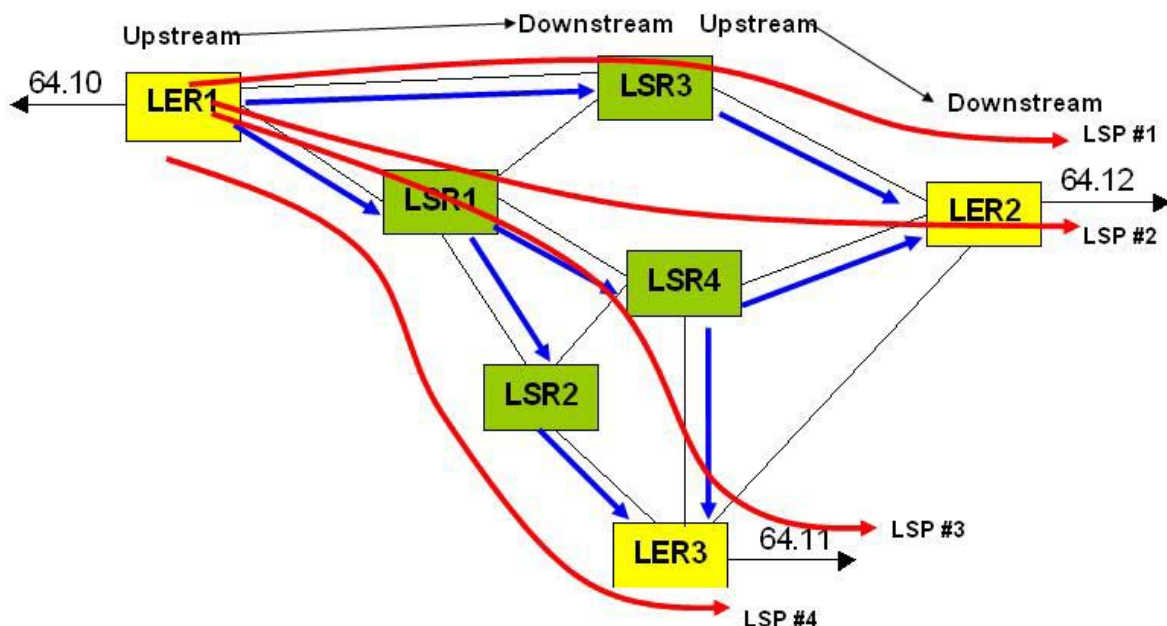
1.1.1 Arquitetura dos roteadores no MPLS

No MPLS, existem dois tipos de roteadores: os LSR (Label Switch Routers), que ficam no meio do domínio MPLS e somente encaminham os pacotes, e os LER (Label Edge Routers), que são os roteadores de borda, que atribuem os primeiros rótulos no pacote de acordo com sua classe equivalente de encaminhamento (FEC – Forwarding Equivalence Class). A figura a seguir ilustra os dois tipos de roteadores de um domínio MPLS [EMB 05].



Os roteadores LSR são muito mais simples, pois sua função é analisar o label e o redirecionar para a porta adequada. Como o label possui sempre o mesmo tamanho, é fácil fazer um LSR bastante rápido. Já os LER devem efetuar a associação do pacote a uma FEC, portanto, necessitam ser mais rápidos. Essa atribuição, entretanto, deve ser feita uma única vez, e não a cada roteador, como no roteamento tradicional.

Cada FEC é relacionada a um LSP (*Label Switched Path*), como mostra a figura a seguir [EMB 05]. Na figura, observa-se a existência de quatro LSPs, um para cada FEC existente.



Como MPLS é baseado em labels, ele necessita um protocolo para distribuir tais labels a fim de criar o caminho LSP. Tal protocolo é o LDP (*Label Distribution Protocol*), que constrói uma tabela (*mesh*) de labels de acesso entre todos os LERs (*Label Edge Routers*) [ARM 00 pg 129].

Cada LSR deve definir o seguinte para a distribuição de rótulos:

Métodos:

- **Downstream não-solicitado:** a distribuição do label parte do LSR mais próximo do destino
- **Downstream Sob demanda:** o LER de entrada solicita um label para determinada rota, e esta solicitação vai percorrendo o caminho até a rota final, onde as conexões começam a se estabelecer.

Controles de distribuição de rótulos:

- **Ordenado:** existe um ordenamento para a distribuição de labels dentro dos LSRs
- **Independente:** cada LSR envia uma solicitação dependendo de controles de tempo internos

Modo de retenção de rótulos:

- **Conservativo:** não permite a troca de rotas;
- **Liberal:** permite a troca de rotas

Dentro do roteador de borda e através do LDP, existe a tecnologia básica do MPLS, que é dependente de topologia, e se baseia nas informações de roteamento tradicionais para estabelecer a rota. Esse tipo oferece pouca vantagem em relação ao roteamento IP tradicional, visto que a rota até o destino é a mesma que usando IP, somente com a adição dos labels. Como existem gigarouters com capacidade para efetuar o roteamento tão rápido em IP como em MPLS, o uso de MPLS fica sem valor [ARM 00 pg 129]. O seu real valor está na habilidade de efetuar *constraint-based routing*, através de rotas explícitas, como explicado a seguir.

Uma das características mais notáveis do MPLS é a capacidade de estabelecer **rotas explícitas** entre origem e destino, ou seja, o roteador de borda da rede pode especificar exatamente qual seqüência de roteadores devem ser usados até o destino, permitindo inclusive a divisão do tráfego em mais de um caminho (balanceamento de carga). A alternativa atual para pacotes IP é o “source routing”, onde se envia todos os hops em cada pacote, o que é ineficiente.

Essas rotas explícitas podem ser escolhidas com base em diferentes métricas, tais como carga de tráfego na rede, largura de banda disponível, custo administrativo, atraso, jitter, número de hops, razão de células perdidas, e assim por diante. Essa capacidade é chamada também de “*constraint based routing*” (roteamento com QoS) [PAS 99]. Essa característica é inexistente em redes IP, e suportada em redes ATM através do protocolo PNNI.

Vale ressaltar que a inteligência para fazer rotas explícitas e *constraint based routing* deve estar somente no roteador de borda, pois ele que vai classificar o tráfego de acordo com o nível de serviço desejado e determinar o caminho apropriado. Este roteador de borda deve aplicar o mesmo label para todos pacotes com o mesmo QoS e destinados ao mesmo nodo de

saída. Assim, os roteadores do núcleo podem ser bem mais simples, da mesma forma que no diffserv.

A classificação de tráfego pode ser bastante semelhante à utilizada no diffserv, ou seja, pode ser baseada no endereço IP origem e destino, número de porta TCP/UDP, porta física de entrada do pacote, campo DS do pacote IP, sinalização RSVP, e assim por diante.

1.1.2 Vantagens do MPLS

Algumas vantagens do MPLS descritas em [PAS 99] e [EMB 05] são:

- Integra facilmente diversos protocolos, como IP e ATM, no mesmo backbone;
- Reduz o tempo de processamento dos roteadores, melhorando seu desempenho;
- Fornece QoS nos backbones, competindo com Diffserv, IntServ/RSVP e ATM;
- Permite a escolha do caminho entre origem e destino, e esta escolha pode ser baseada em diversas métricas de QoS e engenharia de tráfego. Isso é conseguido com o CR-LDP (*Constraint Based Routing*);
- MPLS / LDP / CR-LDP têm sido recomendados pelo ITU para o transporte de IP em ATM em redes públicas, além de já ter sido padronizado pelo IETF.

1.2 Referências

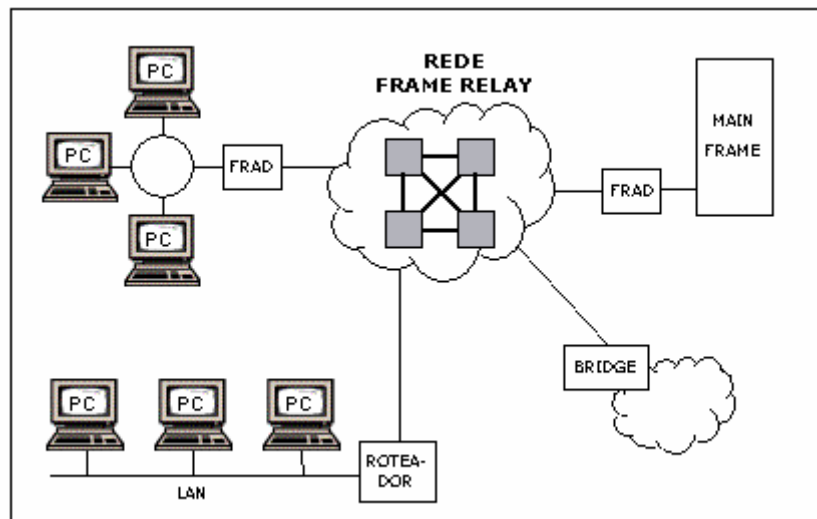
- [COU 01] Courtiat, Jean-Pierre. “Qualidade de serviço no mundo IP”. Minicurso no SBRC 2001.
- [CRO 00] CROLL, Alistair; PACKMAN, Eric. *Managing Bandwidth – Deploying QoS in Enterprise Networks*. New Jersey: Prentice Hall. 2000.
- [EMB 05] Embratel. MultiProtocol Label Switching. Curso. 2005.
- [PAS 99] PASSMORE, David. *MPLS: Dessert Topping or Floor Wax?* Business Communications Review. May, 1999.
- [SOA 95] SOARES, Luiz Fernando Gomes; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de Computadores: das LANs MANs e WANs às Redes ATM**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1995.
- [WEL 00] Welcher, Peter J. “Introduction do MPLS”. 2000. Disponível em: <http://www.netcraftsmen.net/welcher/papers/mplsintro.html>. Acessado em abril de 2006.

2. Frame Relay

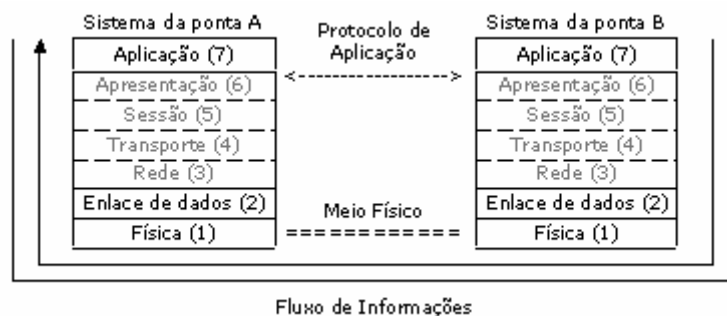
O Frame Relay é um protocolo utilizado em backbones visando interligar aplicações do tipo dados e Voz e dividindo as informações em quadros, ou seja, utiliza multiplexação estatística no tempo (ATDM – *Asynchronous Time Division Multiplexing*) [BER 03].

Uma rede Frame Relay é ilustrada na figura a seguir, sendo composta por [BER 03]:

- Equipamentos de usuários (PCs, estações de trabalho, servidores, computadores de grande porte, etc.) e suas respectivas aplicações;
- Equipamentos de acesso com interface Frame Relay (bridges, roteadores de acesso, dispositivos de acesso Frame Relay – FRAD (Frame Relay Access Devices), etc.);
- Equipamentos de rede Frame Relay (switches, roteadores de rede, equipamentos de transmissão com canais E1 ou T1, etc.).



A figura a seguir ilustra a localização do Frame Relay no modelo OSI. Como pode-se observar, ele elimina todo o processamento da camada de rede (layer 3) do X.25. Além disso, implementa somente algumas funcionalidades básicas da camada de enlace (layer 2), tais como a verificação de quadros válidos, porém sem a solicitação de retransmissão em caso de erro. Isso simplifica o protocolo, permitindo atrasos menores e taxas de transmissão maiores, quando comparado ao X.25 [BER 03].



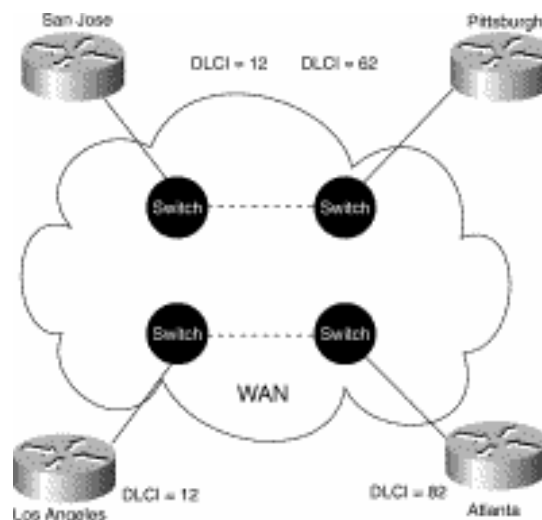
A estrutura do quadro Frame Relay é ilustrada na figura a seguir [BER 03].

FLAG	CABEÇALHO	INFORMAÇÃO DE USUÁRIO	FCS	FLAG
------	-----------	-----------------------	-----	------

O cabeçalho é composto dos seguintes campos:

Byte 1					Byte 2										
DLCI					C/R	EA	DLCI					FE CN	BE CN	DE	EA
8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1

- **Flags:** Indicam o início e o fim de cada frame. O valor 01111110 é utilizado. Para garantir que esse valor não se repita na área de dados, é utilizado bit stuffing¹.
- **Cabeçalho:**
 1. **DLCI (Data Link Connection Identifier)**, com 10 bits, dividido em duas partes, representa o endereço designado para o destinatário de um PVC (*Permanent Virtual Circuit*) dentro de um canal de usuário, e tem significado local apenas para a porta de origem, como mostra a figura a seguir. O funcionamento é semelhante ao MPLS, com encaminhamento rápido de quadros [CIS 02];
 2. **C/R (Command / Response)**, com 1 bit, é usado pela aplicação usuária;
 3. **FECN (Forward Explicit Congestion Notification)**, com 1 bit, é usado pela rede para informar um equipamento receptor de informações que procedimentos de prevenção de congestionamento devem ser iniciados;
 4. **BECN (Backward Explicit Congestion Notification)**, com 1 bit, é usado pela rede para informar um equipamento transmissor de informações que procedimentos de prevenção de congestionamento devem ser iniciados;
 5. **DE (Discard Eligibility Indicator)**, com 1 bit, indica se o frame pode ser preferencialmente descartado em caso de congestionamento na rede;
 6. **EA (Extension Bit)**, com 2 bits, é usado para indicar que o cabeçalho tem mais de 2 bytes, em caso especiais;
- **Informações de usuário:** Dados de usuário – payload. Podem ser de comprimento variável, provocando atraso variável na rede.
- **FCS (Frame Check Sequence):** CRC de 16 bits.



¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Frame_relay

2.1 Diferença PVC e SVC

Um PVC (*Permanent Virtual Circuit*) efetua uma conexão dedicada e permanente entre dois pontos, devendo ser configurada após o estabelecimento do contrato de tráfego entre o usuário e a operadora. Um PVC é análogo a uma linha privativa sempre ligada, tipo ADSL ou Cable Modem.

No caso do SVC (*Switched Virtual Circuit*), a chamada é criada no momento da conexão, e terminada no final. Pode-se fazer uma analogia com o sistema telefônico atual, onde é estabelecida uma conexão no início da chamada, sendo terminada ao final, e os recursos voltam para a rede.

É fácil inferir que o controle de um circuito SVC é bem maior que um PVC, que necessita ser criado apenas uma vez no estabelecimento do contrato, entretanto, os recursos ficam alocados àquele usuário (que paga por isso, claro).

2.2 Elegibilidade para Descarte

[BER 03] “Alguns equipamentos de usuário não têm inteligência ou capacidade de processamento para analisar os avisos de congestionamento, que de fato são a parte opcional do padrão Frame Relay. Entretanto, como parte do padrão básico do Frame Relay existe no cabeçalho do protocolo o bit DE que, se ativado, indica aos equipamentos da rede que o frame pode ser descartado em caso de congestionamento.”

“Para definir o procedimento de ativação do bit DE, o padrão Frame Relay definiu o CIR (*Committed Information Rate*), que representa a capacidade média de informação de um circuito virtual. Para cada VC a ser ativado na rede, o usuário deve especificar o CIR de acordo com a necessidade de sua aplicação. Normalmente o CIR é especificado como sendo uma porcentagem da capacidade máxima da porta física onde é conectado o equipamento de aplicação do usuário, ou seja, para uma porta de 2 Mbits/s, por exemplo, pode-se adotar um CIR de 1Mbit/s (50%) a ser configurado para o VC.”

“Desta forma, tanto os equipamentos de usuário como os equipamentos de rede passam a ativar o bit DE toda vez que um quadro a ser enviado ultrapasse o CIR configurado para o respectivo VC. Isto implica que, em caso de congestionamento, os quadros que possuem o bit DE ativado são preferencialmente descartados para tentar normalizar o carregamento da rede.”

“Quando o descarte de quadros com o bit DE ativado não é suficiente para acabar com o congestionamento da rede, qualquer tipo de quadro é descartado, independente do estado do bit DE.”

2.3 Controle de Congestionamento

O controle de congestionamento no Frame Relay inclui os seguintes elementos²:

- Controle de admissão: assegura que a rede tem os recursos necessários para aceitar uma nova conexão (principalmente no caso de SVC);
- CIR (*Committed Information Rate*): a taxa média (em bits/s) na qual a rede garante a transferência de informação sobre um determinado intervalo T. Esse intervalo T é definido como $T = Bc/CIR$;
- BC (*Committed Burst Size*): o número máximo de unidades de informação possíveis de serem transmitidos num intervalo T;

² http://en.wikipedia.org/wiki/Frame_relay

- BE (*Excess Burst Size*): O máximo número de unidades de informação não garantidas que a rede vai tentar enviar durante o período T (ligando o bit DE). Esse parâmetro é utilizado para configurar o EIR (*Extended Information Rate*), que é uma taxa permitida além do CIR. Toda taxa além do EIR é descartada imediatamente.

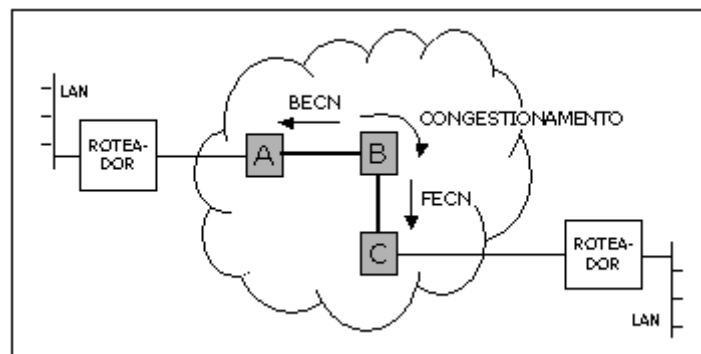
2.4 Sinalização

O Frame Relay define, de forma opcional, mecanismos de sinalização para três tipos de situações [BER 03]:

- Aviso de congestionamento;
- Estado das conexões;
- Sinalização SVC.

2.4.1 Aviso de Congestionamento

Quando um roteador Frame Relay atinge sua capacidade máxima de banda, ele utiliza os campos FECN e BECN, conforme ilustra a figura a seguir, onde o roteador B atingiu o estado de congestionamento. Dependendo da inteligência do protocolo da aplicação de usuário, procedimentos de recuperação de falha podem ser iniciados. Por exemplo, o protocolo TCP pode utilizar esses mecanismos para diminuir sua janela de congestionamento.



2.4.2 Estado das Conexões

Este tipo de sinalização define como os equipamentos de usuário e os equipamentos da rede Frame Relay podem comunicar o status das portas e dos vários VC's configurados para cada porta. São utilizados alguns quadros especiais com DLCI's específicos que são trocados entre a rede e as aplicações de usuário. Esses quadros monitoram o estado da conexão e fornecem as seguintes informações:

- Estado ativo ou não da interface ou porta;
- Os DLCI's válidos definidos para uma determinada porta ou interface;
- O estado de cada VC, como por exemplo se ele está congestionado ou não.

Vale ressaltar que, como esta sinalização é opcional no atendimento ao padrão Frame Relay, nem todos os equipamentos, seja de rede ou de usuário, possuem este tipo de funcionalidade implementada.

2.4.3 Sinalização SVC

A sinalização SVC (*Switched Virtual Circuit*) trata apenas do estabelecimento e controle de um determinado SVC, de forma automática na rede. Diferente dos 2 tipos de sinalização anteriores, onde o resultado da sinalização é informado aos operadores da rede

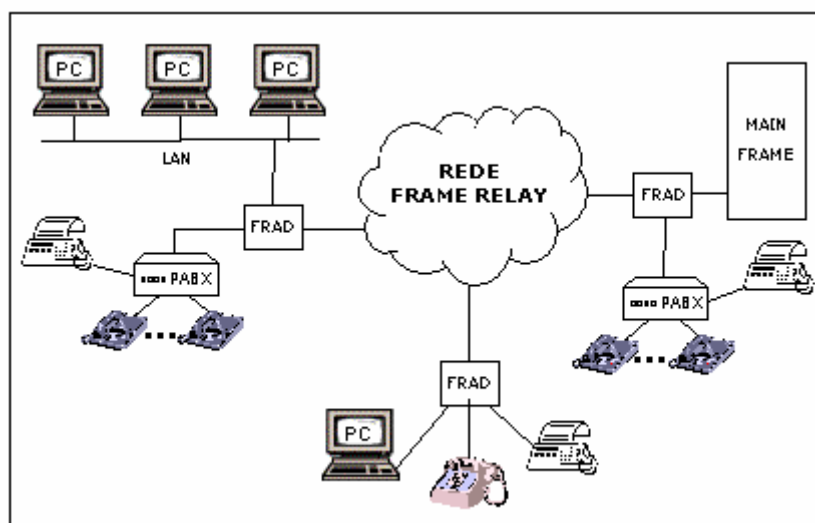
Frame Relay, a sinalização SVC não informa qual o estado atual da rede. Ela é apenas um procedimento para estabelecer um SVC de acordo com a demanda de uma determinada aplicação de usuário.

O padrão Frames Relay define as mensagens e os procedimentos necessários para ativar um SVC. Basicamente a rede avisa o destinatário que existe uma demanda para estabelecer uma conexão, e ele deve decidir de aceita ou não. Se for aceita, a rede configura o SVC na rede entre a origem da demanda e o destinatário. Assim que o SVC estiver ativo, os equipamentos de aplicação da origem e do destino podem iniciar a transferência de informações.

Quando os equipamentos de aplicação não necessitarem mais da conexão, qualquer um ou ambos avisam a rede, que por sua vez desativa o SVC. Durante o período em que o SVC está ativo, informações de tempo de duração e banda, entre outras, são armazenadas para uso dos sistemas de cobrança.

2.5 Voz sobre Frame Relay (VoFR)

[BER 03] A tecnologia Frame Relay também possui facilidades para o transporte de Voz, fax e sinais de modems analógicos atendendo os requisitos de atraso específicos para esse tipo de aplicação. Isso permite uma maior facilidade de gerência e manutenção, reduzindo custos e complexidade para grandes redes. A figura a seguir ilustra essa possibilidade.



Os equipamentos de VoFR são os VFRADs, e utilizam esquemas de priorização para permitir que os pacotes de voz irem na frente, mantendo os pacotes de dados na espera³. Isso não provoca grandes problemas na transmissão, visto que os pacotes de voz ocupam pouca largura de banda.

Alguns VFRADs incorporam técnicas de fragmentação, dividindo os pacotes de voz em pequenos quadros, visando uma diminuição no atraso.

2.6 Vídeo sobre Frame Relay

O Frame Relay é indicado para o transporte de dados e voz, tendo sua velocidade máxima normalmente abaixo de 2Mbit/s, limitando a capacidade de conexão de vídeo.

³ <http://www.protocols.com/papers/voe.htm#vofr>

Apesar disso, alguns fabricantes afirmam que seus equipamentos suportam vídeo de baixa velocidade dentro de Frame Relay⁴. Isso é factível, entretanto, deve-se ter bastante cuidado para evitar tráfego simultâneo em rajadas, que prejudica a transmissão de vídeo.

Um artigo enfocando os aspectos de transmissão de vídeo sobre Frame Relay pode ser visto em <http://www.abl.ca/applications/framerelay/index.html>. As problemáticas para a transmissão de vídeo são semelhantes às de transmissão de voz, porém, como é necessário uma maior velocidade, acontecem mais problemas na transmissão, e os equipamentos de controle de prioridade e QoS são muito mais necessários que no caso de voz.

2.7 Referências

- [BER 03] Bernal, Huber Filho. Tutorial de Frame Relay. <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfr/default.asp>. Acessado em abril de 2006.
- [CIS 02] Cisco. Troubleshooting Frame Relay Connections. http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/itg_v1/tr1918.htm. Acessado em abril de 2006.

⁴ <http://www.broadwing.com/allserv-g14.html>