Comunicação de Dados II
Introdução às Redes e Serviços de Faixa Larga

Mauricio F. Magalhães
Eleri Cardozo

Departamento de Engenharia de Computação
e Automação Industrial
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Estadual de Campinas

1998

©1998 DCA/FEEC/UNICAMP

Conteúdo

1 Redes de Longa Distância **3**
- 1.1 Histórico . . . 3
- 1.2 Redes de Longa Distância Baseadas na Comutação de Circuitos . . . 4
- 1.3 Redes de Longa Distância Baseadas na Comutação de Pacotes . . . 5
- 1.4 Redes X.25 . . . 6

2 Redes Digitais de Serviços Integrados **9**
- 2.1 Visão Conceitual da RDSI . . . 9
- 2.2 RDSI: Interfaces e Funções . . . 10
- 2.3 Camadas RDSI . . . 11
- 2.4 RDSI: Serviços . . . 12
- 2.5 RDSI: Sinalização Número 7 . . . 13
  - 2.5.1 SS7: Arquitetura Funcional . . . 13
  - 2.5.2 SS7: Arquitetura de Protocolos . . . 14

3 Redes Frame Relay **17**
- 3.1 Comutação Rápida de Pacotes . . . 17
- 3.2 Frame Relay . . . 18
- 3.3 Frame Relay: Nível Físico . . . 19
- 3.4 Frame Relay: Enlace . . . 19
- 3.5 Frame Relay: Sinalização . . . 21
- 3.6 Controle de Congestionamento . . . 21
- 3.7 Policiamento de Tráfego . . . 22
- 3.8 LMI (Local Management Interface) . . . 24

4 Redes ATM **27**
- 4.1 Camada Física . . . 29
  - 4.1.1 Sub-camada Dependente do Meio Física (PMD) . . . 29
  - 4.1.2 Sub-camada de Convergência de Transmissão (TC) . . . 30
- 4.2 A Camada ATM . . . 32
  - 4.2.1 Pacotes X Células: Vantagens e Desvantagens . . . 32
  - 4.2.2 Conexões ATM . . . 33
  - 4.2.3 A Célula ATM . . . 34
  - 4.2.4 Funções da Camada ATM . . . 36
  - 4.2.5 O Serviço ABR (Available Bit Rate) . . . 48
- 4.3 A Camada de Adaptação . . . 52
  - 4.3.1 Arquitetura da Camada de Adaptação . . . 52

4.3.2 Classes de Serviço 54
4.3.3 A Camada de Adaptação Tipo 1 55
4.3.4 A Camada de Adaptação Tipo 2 60
4.3.5 A Camada de Adaptação Tipo 3/4 61
4.3.6 A Camada de Adaptação Tipo 5 64

5 Redes de Acesso **68**
5.1 Rede de Acesso Faixa Larga 68
5.1.1 Estado Atual das Redes Residenciais e do Acesso a Internet 68
5.2 Rede de Acesso Faixa Larga 70
5.2.1 Rede de Acesso 72
5.3 Técnicas de Modulação e Codificação 73
5.3.1 High-bit-rate Digital Subscriber Line - HDSL 73
5.3.2 Técnicas de Modulação e Codificação para a Rede de Acesso 73
5.3.3 Modems xDSL 75
5.3.4 *Cable Modem* 75
5.3.5 xDSL 76
5.3.6 Família xDSL 78
5.3.7 Novas Infra-Estruturas para a Rede de Acesso 79
5.3.8 A Arquitetura da Rede HFC - *Hybrid Fiber/Coax* 80
5.3.9 Topologia HFC: Arquitetura do Nó 80
5.3.10 Transmissão Digital 81
5.3.11 Transmissão *Upstream* 81
5.3.12 Arquitetura HFC Comutada 81

6 A Rede Internet como RDSI **83**
6.1 Limitações 83
6.2 Integração Internet-ATM 83
6.3 Internet sobre ATM 84
6.3.1 Modelos ATM para Interconexão de Redes 84
6.3.2 Terminologia 85
6.4 O Modelo Overlay 85
6.5 Modelo Clássico (IETF) 86
6.5.1 Encapsulamento Multiprotocolo sobre o ATM AAL5 (RFC 1483) 86
6.5.2 Resolução de Endereço 90
6.6 O Protocolo IP-Clássico sobre ATM 91
6.6.1 ATMARP 91
6.6.2 Considerações Finais 94
6.7 Emulação de LANs Sobre ATM (LAN Emulation) 95
6.7.1 Visão Geral da Arquitetura 96
6.7.2 Tipos de Conexões 102
6.8 Evolução da Internet para uma RDSI-FL 105

Capítulo 1

Redes de Longa Distância

1.1 Histórico

A interconexão de computadores iniciou já na década de 60com a utilização de circuitos dedicados de voz para a interconexão dos então "mainframes" com terminais remotos ou com outros mainframes. Taxas em torno de 1200 bits/s eram típicas nesta época.

A IBM Corp. teve um papel de destaque no desenvolvimento de redes de longa distância. O protocolo BSC (Binary Synchronous Communication) foi o primeiro protocolo de enlace para linhas de baixa velocidade empregado em larga escala. BSC é um protocolo orientado a caracteres de 8 bit (EDCDIC ou ASCII). BSC é sem dúvida o protocolo de rede mais antigo ainda em uso.

Em 1974, a IBM introduziu a rede SNA (Systems Network Architecture), concebida para uma estruturação em árvore (mainframe conectando outros computadores ou periféricos). O protocolo de enlace da rede SNA, SDLC (Synchronous Data Link Control) serviu de base para o protocolo HDLC (High-level Data Link Control) presente em várias redes e conexões de longa distância da atualidade.

Em 1976, a Digital Equipment Corporation (DEC) introduziu a rede DNA (Digital Network Architecture), conhecida também como DECnet. Tal qual SNA, DECnet consistia de uma pilha de protocolos proprietários tornando estas redes incapazes de interoperar com qualquer outra solução. SNA e DECnet são redes "pré-OSI" qua já utilizavam uma estruturação em camadas e contribuiram para o estabelecimento de modelos e arquiteturas de rede que as sucederam.

Ainda na década de 70, a ISO e CCITT (atual ITU-T) iniciavam as atividades de padronização de redes de longa distância. O resulado deste esforço foi o modelo de referência OSI (Open Systems Interconnection) e uma vasta gama de protocolos como X.400, X.500, FTAM, etc. O modelo OSI serve de base para as redes X.25 e DECnet fase V (a versão atual da rede DECnet). Serve de base ainda para os esforços na linha dos "Projeto OSI Governamentais" (GOSIPs) que estabelecem uma pilha OSI mínima para a interconexão dos vários órgãos governamentais independente sa solução de rede por eles adotadas.

Paralelamente aos esforços da ISO/CCITT, o Departamento de Defesa norte-americano iniciou na mesma época o projeto da rede ARPANET, que pode ser considerada a primeira rede de longa distância de grande porte. Este projeto forneceu a base para os protocolos da família TCP/IP.

Outro esforço de padronização importante no âmbito da CCITT foi a rede digital de serviços integrados (RDSI). A idéia da RDSI é prover um acesso digital de baixa velocidade ao assinante onde "serviços telemáticos" (videotexto, telex, videofone, etc.) são disponibilizados. A arquitetura da RDSI serve de base para redes Frame Relay que vêem substituindo as redes X.25. RDSI evoluiu para uma arquitetura em faixa larga que serve de base para as redes ATM.

1.2 Redes de Longa Distância Baseadas na Comutação de Circuitos

As redes baseadas na comunicação por circuitos são caracterizadas pela alocação de um caminho dedicado para comunicação entre duas estações. Este caminho é composto pela concatenação de canais multiplexados nos vários enlaces entre os nós da rede de comunicação. A comutação de circuitos possui 3 fases bem definidas na sua utilização:

- estabelecimento do circuito: antes da troca de informações é necessário o estabelecimento de um circuito fim a fim entre as estações participantes da comunicação. Este estabelecimento do circuito é realizado pelos procedimentos de sinalização de forma semelhante, por exemplo, quando iniciamos uma ligação telefônica. Suponhamos, por exemplo, que a estação B solicite à rede o estabelecimento de um circuito com a estação F. Para tal, ela deve especificar o endereço de F para que a rede tenha condições de encaminhar o pedido de sinalização e, eventualmente, especificar algum requisito de qualidade para o circuito a ser estabelecido. Como o enlace entre a estação B e o nó 1 é um enlace dedicado esta parte da conexão já existe. O nó 1, baseado no endereço da estação F, analisa o pedido e considerando as informações de roteamento, de qualidade e, eventualmente, custos decide por encaminhar o pedido do estabelecimento do circuito na direção do nó de rede 6. Este procedimento se desenrola da mesma forma até alcançar o nó de rede 6 que envia a sinalização para a estação C para que esta decida se aceita ou não o pedido de estabelecimento de um circuito solicitado por B. Este ponto corresponde ao instante em que o telefone do número chamado soa a sua campanhia e a pessoa naquele local atende o telefone;

- após o recebimento da confirmação, por parte da estação B, indicando que a estação F aceitou o pedido de estabelecimento de circuito, inicia-se a fase de troca de informações. Em geral a conexão estabelecida é full-duplex;

- após um período de transferência de dados uma das duas estações decide encerrar a conexão. Isto é feito também por um procedimento de sinalização que percorre os elementos de rede que fazem parte do circuito indicando que os recursos associados à conexão podem ser liberados devido ao seu encerramento.

A comutação por circuito tem o potencial de tornar-se ineficiente caso nenhum dado seja transferido no canal alocado à conexão. Do ponto de vista do desempenho, existe um atraso devido aos procedimentos de sinalização quando do estabelecimento do circuito mas, por outro lado, após o circuito estabelecido a informação é transmitida em uma taxa constante e os atrasos devem-se somente aos de propagação nos enlaces dado que os atrasos que ocorrem no interior dos nós de comutação são desprezíveis.

O exemplo mais típico da comutação de circuitos é representado pela rede pública de telefonia rede esta concebida para transporte do sinal de voz. Deve ser destacado que a comutação por circuitos é a solução adequada no transporte de tráfego como a voz, em função da componente temporal associado ao dado. Na medida em que a comutação por circuito aloca recursos dedicados ao canal não há risco de que a informação de voz se degrade em função, por exemplo, de atrasos ou variações do atraso (jitter) imprevisíveis. O grande atrativo da comutação por circuitos é o fato que, após o seu estabelecimento,tem-se uma ligação direta entre as estações.

1.3 Redes de Longa Distância Baseadas na Comutação de Pacotes

Existem duas técnicas básicas de comutação de pacotes: datagrama e circuito virtual. No caso de datagramas, cada pacote é tratado independentemente sem qualquer relação com os pacotes que anteriormente passaram pelo comutador. A característica básica da comutação baseada no conceito de datagramas é que pacotes endereçados por uma estação a uma mesma estação destino podem percorrer caminhos (rotas) diferentes dentro da rede até alcançarem o destino comum. Como consequência deste fato é possível que os pacotes cheguem no destino em uma ordem diferente daquela em que foram enviados pela origem, ou seja, os pacotes 1 e 2 enviados nesta ordem pela estação A para a estação B, podem ser recebidos por esta última na ordem inversa pois em função do estado da rede podem ter percorrido rotas diferentes o que faz o pacote 1 atrasar-se com relação ao pacote 2. Neste tipo de técnica os pacotes tratados de forma independente são denominados de datagrama.

Na abordagem baseada em circuito virtual há o estabelecimento inicial de uma rota antes do envio de pacotes. No caso do exemplo anterior a estação, antes de enviar os pacotes 1 e 2 para a estação B, irá solicitar à rede, através dos procedimentos de sinalização, o estabelecimento de uma conexão com a estação B. Uma mensagem do tipo Call-Request irá percorrer a rede através de uma determinada rota até alcançar a estação B que irá reponder indicando se aceita ou não o estabelecimento da conexão solicitada. Em caso positivo, B irá enviar uma mensagem do tipo Call-Accept que percorrerá, no sentido contrário, a mesma rota percorrida pela mensagem de sinalização Call-Request. Ao fazer este caminho de volta até alcançar A a mensagem de sinalização Call-Accept consolida a conexão e ao ser recebida pela estação A a conexão está apta a ser utilizada para a troca de informações. A partir deste momento as estações A e B irão trocar informações naquela conexão e os pacotes irão percorrer a mesma rota definida quando do estabelecimento da conexão. Como a rota é fixa durante a duração da conexão ela é similar ao conceito de circuito nas redes comutadas por circuito que discutimos anteriormente. Devido a este fato a conexão é referida como circuito virtual isto porque, diferentemente da comutação de circuito, não existe o estabelecimento de um circuito físico entre as estações. Cada nó situado na rota estabelecida conhece como encaminhar os pacotes não havendo mais a necessidade de tomar decisões de roteamento. Nota-se aqui a difereça da técnica baseada em datagramas onde, para cada pacote enviado de A para B, uma decisão de roteamento dever ser tomada.

Por decisão de uma das estações envolvidas na conexão, uma mensagem de sinalização do tipo *Clear-Request* é enviada à rede encerrando a conexão. Deve ser observado que uma estação pode possuir, em qualquer instante, mais de uma conexão virtual com outra estação, bem como possuir circuitos virtuais com mais de uma estação.

Podemos sintetizar esta discussão afirmando que a maior característica da técnica baseada em circuito virtual é o fato de que uma rota é estabelecida entre as estações antes da transferência de informações.

Ao compararmos as duas técnicas temos, do lado da comutação baseada em circuito virtual, as vantagens de uma maior eficiência na fase de troca de informação porque não há necessidade de tomar decisões de roteamento, e a garantia de que os pacotes serão entregues corretamente e na ordem em que foram enviados, condições estas básicas para que os circuitos virtuais emulem adequadamente circuitos reais. A desvantagem relaciona-se à necessidade da sinalização para o estabelecimento da conexão e ao desperdício de recursos caso o circuito tenha baixa taxa de utilização. Desta forma a técnica de circuitos virtuais é interessante para o caso de duas estações que irão trocar dados continuamente durante um período de tempo relativamente longo.

Na mesma linha de argumentação, uma vantagem do mecanismo de datagrama é o fato de não

ser necessária a fase de estabelecimento de conexão o que agiliza o envio dos pacotes já que não sofrem o atraso da sinalização. Um aspecto importante do datagrama é que, em se tratando de uma tecnologia mais primitiva do que a de circuito virtual, ela é mais flexível. Uma ilustração típica desta flexibilidade é quando a rede tem problemas de congestionamento. Neste caso, o mecanismo de datagrama permite que os pacotes sejam roteados para outras partes da rede que não estejam sofrendo do problema o que não é possível no caso do circuito virtual onde a rota não se altera.

No primeiro texto abordamos o protocolo IP, orientado a datagrama. Neste texto, apresentaremos a seguir o protocolo X.25 como exemplo de camada de rede orientada a conexão.

1.4 Redes X.25

Redes X.25 seguem o modelo OSI, definindo protocolos até a camada de rede. Na camada física a rede utiliza qualquer conexão, tipicamente serial, para interconexão física entre o DTE (Data Terminal Equipment) e o DCE (Data Communication Equipment). Usualmente interfaes da série V da ITU-T ou série G da EIA/TIA são empregadas na camada física das redes X.25. Estas interfaces permitem velocidades na faixa de 64 a 512 Kbits/s, típicas para as redes X.25 atuais.

No nível de enlace, o protocolo HDLC (High-level Data Link Control) da ISO é empregado para o controle de enlace lógico entre o DTE e DCE. Este protocolo foi apresentado no volume anterior. Neste capítulo apresentaremos o protocolo X.25 referente à camada de rede.

O protocolo X.25 para a camada de rede difere dos correspondentes X.25 para as camadas 1 e 2 no que tange ao estabelecimento das conexões. No X.25/camada 1 a conexão DTE-DCE é física (elétrica) e estabelecida permanentemente. No X.25/camada 2, uma conexão involve apenas dois computadores: o host (DTE) e o IMP a ele conectado (via DCE). Aqui, o DTE deve iniciar a conexão com o IMP utilizando uma via física permanente ou temporária (linha discada, por exemplo). Para o X.25/camada 3, a conexão une dois DTEs e se estende por pelo menos 1 (tipicamente vários) IMPs. Diferente dos anteriores, o estabelecimento de uma conexão irá envolver múltiplas entidades (DTEs e IMPs).

O protocolo X.25 para a camada de rede define um endereçamento para os hosts segundo a recomendação X.121 da CCITT. Este endereçamento é diferente dos NSAPs padrão OSI, e composto de 14 dígitos decimais. Os primeiros 3 dígitos identificam o país (exemplo: 302 a 307 para o Canadá), o quarto dígito a rede pública naquele país (totalizando $6 \times 10 = 60$ para o Canadá), e os últimos 10 dígitos o IMP da rede.

O X.25/camada 3 utiliza um protocolo denominado PLP (Packet Layer Protocol). Este protocolo define 3 tipos de pacotes: um tipo para a requisição de conexões, um tipo para controle, e um para dados. A figura 1.1 ilustra o formato de um pacote utilizado no estabelecimento de conexões.

Neste pacote, os campos GRUPO e CANAL ocupam 12 bytes e armazenam o identificador do circuto virtual sendo estabelecido. A seguir vem os endereços (formato X.121) dos IMPs de origem e destino. O campo RECURSOS é utilizado para requerer alguns serviços providos pela rede, por exemplo, tipo de circuito (full-duplex, simplex, etc), tamanho da janela (controle de fluxo), velocidade de comunicação (1200 bps, 2400 bps, etc), taxação no IMP destino (chamada a cobrar), etc. Finalmente, o DTE que iniciou a conexão pode dispor de, no máximo, 16 bytes no campo DADOS-DO-USUÁRIO. Este campo é interpretado pelo DTE sendo conectado e ignorado pela rede.

Um pacote de controle (figura 1.2) possui campos para identificar a conexão GRUPO-CANAL e ação de controle sendo tomada. Um ou dois bytes de informação adicional acompanha o cabeçalho e indica tipicamente o porque da ação de controle (por exemplo, a recusa do estabelecimento de uma conexão).

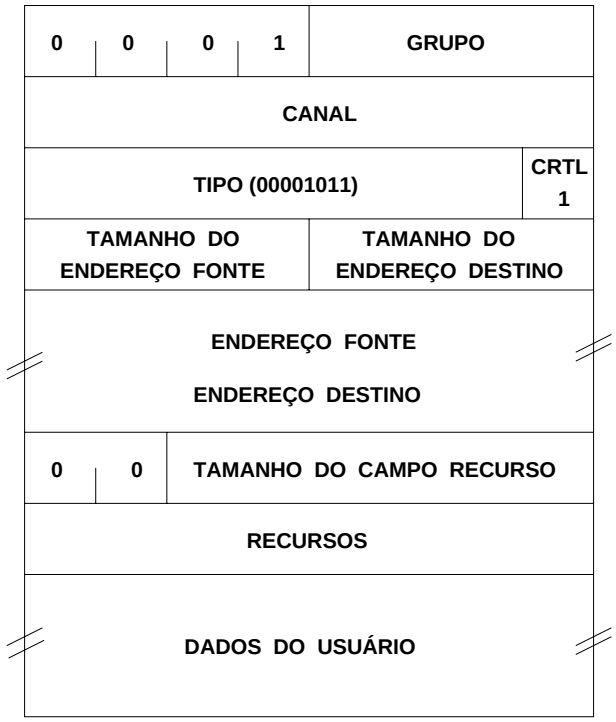

Figura 1.1: Pacote X.25 utilizado no estabelecimento de conexões.

As ações de controle possíveis são:

- CALL_ACCEPT: indica o aceite de pedido de conexão;
- CLEAR_REQUEST: indica o término de conexão (ou o não aceite);
- CLEAR_CONFIRMATION: confirma o término de conexão;
- RECEIVER_READY, RECEIVER_NOT_READY, REJECT: utilizados no controle do fluxo do pacotes de dados;
- INTERRUPT: envio de, no máximo, 32 bytes fora de seqüência (com alta prioridade);
- INTERRUPT_CONFIRMATION: reconhece um INTERRUPT;
- RESET_REQUEST: reinicia uma conexão (zerando o número de sequência dos pacotes de dados);
- RESET_CONFIRMATION: reconhece um RESET_REQUEST;
- RESTART_REQUEST: reinicia todas as conexões que este DTE participa (emitido após a volta de um *crash*);
- RESTART_CONFIRMATION: reconhece um RESTART_REQUEST;
- DIAGNOSTIC: informa o DTE de problemas ocorridos na subrede de comunicação (por exemplo, campo TIPO inválido).

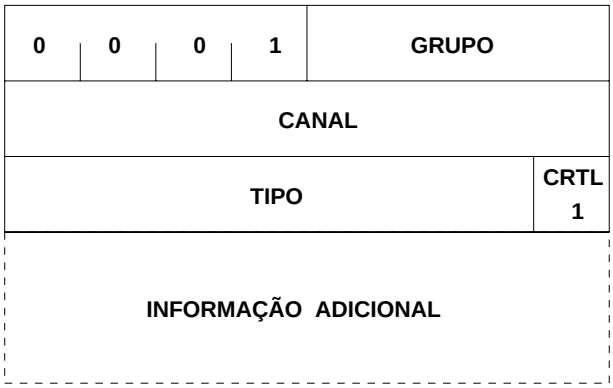

Figura 1.2: Pacote X.25 de controle.

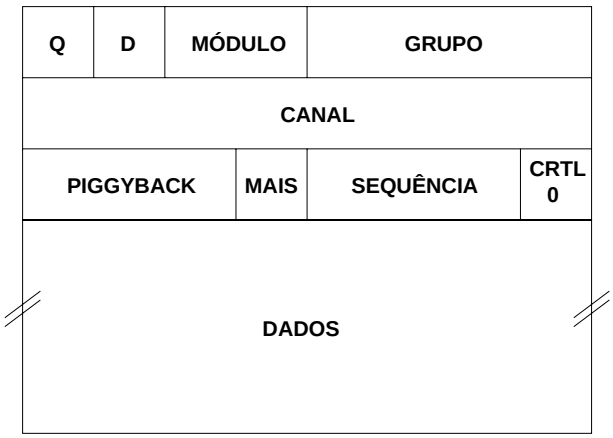

Figura 1.3: Pacote X.25 de dados.

Pacotes de dados apresentam o formato da figura 1.3.

O bit Q indica *dados qualificados* e é utilizado pela camada de transporte para distinguir seus PDUs de dados dos de controle. O bit D estipula o significado do campo *piggyback*. Se D for igual a 1, *piggyback* indica um reconhecimento por parte do host (DTE) receptor. Caso contrário (Q igual a zero), o reconhecimento da entrega é oriundo do DCE local. O campo módulo pode assumir o valor 01 para numeração em módulo 8, ou 10 para numeração em módulo 128.

Piggyback é um reconhecimento sem a utilização de pacotes de controle. Se o host receptor necessitar enviar um pacote da dados durante a recepção de uma seqüência de pacotes, este, voluntariamente, informa o último pacote da sequência recebido sem erros (permitindo o outro lado avançar a janela). Isto minimiza a necessidade de pacotes de reconhecimento quando a comunicação é intensa nos dois sentidos.

O campo MAIS indica que mais pacotes pertencentes a este grupo estão por vir. Somente quando MAIS for zero, a mensagem é entregue ao receptor. O campo SEQÜÊNCIA numera os pacotes (em módulo 8 ou 128 conforme o campo Q).

Capítulo 2

Redes Digitais de Serviços Integrados

2.1 Visão Conceitual da RDSI

A Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI) representa a última etapa na evolução das redes telefônicas fortemente impulsionada no início dos anos 70 com a introdução da transmissão digital. Esta etapa foi seguida no final dos anos 70 pelos sistemas de comutação digital através do uso do computador no controle das operações de comutação e da sinalização baseada em mensagens entre os centros de comutação. Esta combinação dos sistemas de transmissão e comutação digitais, denominados de Redes Digitais Integradas (IDN: Integrated Digital Network), propiciaram grande flexibilidade o que permitiu a introdução de novos serviços e redução nos custos operacionais. Entretanto, a rede de acesso local, aquela que vai do assinante até a central mais próxima, continua analógica.

Devido ao aumento da importância dos serviços não diretamente voltados para transmissão de voz, nos anos 80 ocorreu uma evolução da rede telefônica nos países mais desenvolvidos, na qual a conexão digital alcançou todos os níveis da rede possibilitando a oferta de outros serviços além dos serviços de voz, os chamados *serviços telemáticos* (teletexto, videotexto, etc.). De modo a permitir a exploração da rede completamente digital, a sinalização baseada em mensagens foi estendida até o usuário. Este desenvolvimento permitiu a criação da Rede Digital de Serviços Integrados.

A RDSI define como modo de transferência o STM (Modo de Transferência Síncrono) e uma multiplexação TDM (Multiplexação por Divisão do Tempo) síncrona da via digital de acesso formada pela combinação de canal tipo B (64 Kbps), canal tipo D (16 ou 64 Kbps) e canal tipo H (384 Kbps, 1536 Kbps, 1920 Kbps). Os tipos mais comuns de estrutura de canais são:

- Estrutura de acesso básico (BRI: Basic Rate Interface): formadas por 2 canais do tipo B e um canal do tipo D de 16 Kbps;
- Estrutura de acesso primário (PRI: Primary Rate Interface):
  - T1: 23 canais B e um canal D de 64 Kbps (23B+D);
  - E1: 30 canais B e um canal D de 64 Kbps (30B+D);

A figura 2.1 destaca uma das principais características da RDSI que é o fato da separação da informação do usuário e da sinalização através da rede. No caso, a informação do usuário é restrita ao plano do usuário (Plano-U) e a sinalização ao plano de controle (Plano-C). Os protocolos de sinalização são estruturados na forma de camadas onde na camada de rede é especificado o protocolo de controle de chamada Q.931 (especificação ITU-T). Este protocolo especifica as mensagens de

controle através da definição dos respectivos tipos, formatos e regras de interação. No caso da camada de enlace utiliza-se o protocolo Q.921 (LAPD) o qual garante que as mensagens de controle são transmitidas sem erro.

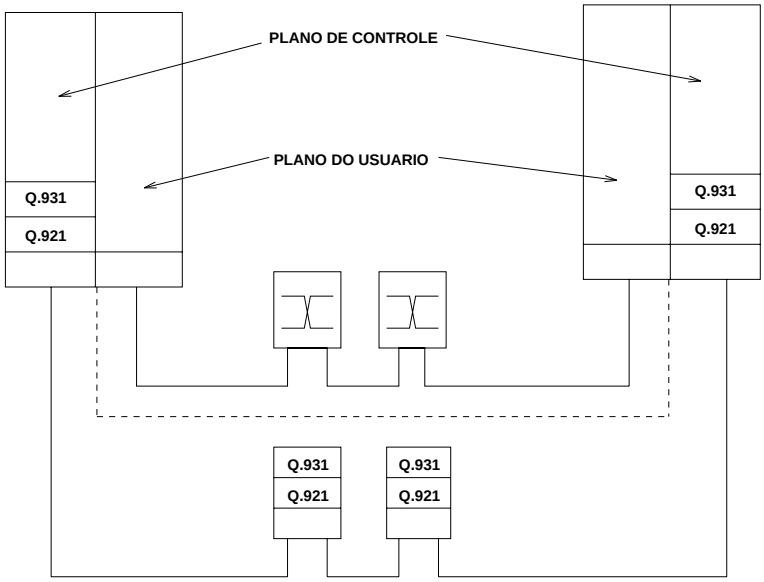

Figura 2.1: Estrutura da RDSI: Plano de Controle x Plano do Usuário.

Como evolução das redes públicas de telefonia, a RDSI é naturalmente baseada na comutação de circuitos. Entretanto, no caso da comunicação de dados a comutação de pacotes é mais apropriada. Como o X.25 não atende o modelo de separação da informação do usuário e da sinalização e, ao mesmo tempo, trata-se de um protocolo bastante complexo devido às funções de correção de erro, o que já não se justifica tanto no caso da transmissão digital, uma solução mais adequada era necessária para suportar os serviços de comunicação de dados, solução esta que foi obtida com a introdução do Frame Relay.

Em função do desenvolvimento das tecnologias de comunicação ótica permitindo taxas de transmissão na faixa de Mega bytes por segundo e, brevemente, na faixa do Gigabyte por segundo, as RDSIs foram subdivididas em RDSI-FE (Faixa Estreita) e RDSI-FL (Faixa Larga). Esta última tem como tecnologia básica o ATM (Asynchronous Transfer Mode).

2.2 RDSI: Interfaces e Funções

O modelo proposto para a RDSI consiste em pontos de referência e grupamentos funcionais. Um grupamento funcional consiste de determinado conjunto de componentes necessários para acesso por parte do usuário à rede ISDN. Estes componentes podem ser físicos (hardware) ou lógicos (software). Pontos de referência são interfaces conectando os grupamentos funcionais. A figura 2.2 ilustra os grupamentos funcionais e pontos de referência para a RDSI.

A figura 2.2 ilustra os grupamentos funcionais (retângulos arredondados) e os pontos de referência R, S, T e U da ISDN. O grupamento funcional NT1 (Network Termination 1) agrega funções similares às da camada física do modelo OSI. Este grupamento trata das conexões elétricas e mecânicas disponibilizadas ao usuário ISDN. Por exemplo:

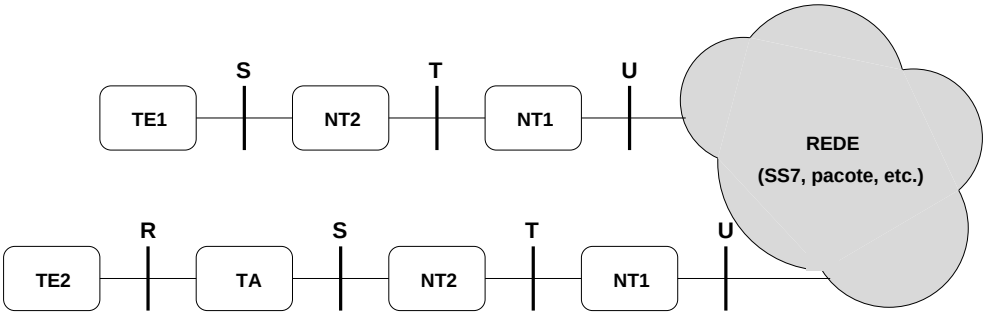

Figura 2.2: Grupamentos funcionais e pontos de referência para a ISDN

- conectores terminais;
- monitoramento e manutenção da linha;
- temporização e *framing*.

O grupamento funcional NT2 (Network Termination 2) desempenha funções de comutação e concentração, podendo chegar até a camada de rede do modelo OSI. Por exemplo, um PBX digital é um NT2 pode conter funões de camada física, enlace e rede do modelo OSI (em última instância, um dispositivo capaz de sinalização como abertura de uma conexão virtual). Um controlador de terminal é um NT2 capaz de desempenar funções de camada física e de enlace do modelo OSI; enquanto um multiplexador TDM é um NT2 que desempenha apenas funções de camada física do modelo OSI.

Grupamentos funcionais TE1 (Terminal Equipment 1) e TE2 são dispositivos do usuário conectados à rede ISDN. TE1 representa equipamentos com plema capacidade de acesso à rede ISAD tais como telefones digitais, CODECs, equipamentos de FAX e Videotexto, etc. TE2 representa equipamentos não-ISDN que necessitam de um adaptador para acesso à rede. Este adaptador é representado pelo grupamento funcional TA (Terminal Adapter). Exemplo de equipamentos TE2 são terminais alfanuméricos de dados e terminais de telex.

O ponto de referência S corresponde a interface de terminais ISDN; T representa a interconexão entre equipamentos do usuário (NT2) e equipamentos do provedor (NT1); R representa interfaces não ISDN como uma interface serial RS-232C. Finalmente, o ponto de referência U é definido pelo próprio provedor, não sendo "visto" pelo usuário ISDN. Este ponto de referência especifica a transmissão full-duplex na linha do assinante.

2.3 Camadas RDSI

As camadas da RDSI é apresentada na figura 2.3. Esta pilha de protocolos é utilizada para o transporte confiável de sinalização fim-a-fim.

No nível físico, a interface de acesso básico demanda uma taxa de 144 Kbits/s (2B+D). A interface I.430 é utilizada nesta forma de acesso. Esta interface define um quadro de 48 bits que se repete a cada 250 us. Destes 48 bits, 36 (16 + 16 + 4) são necessários para os dois canais B e um canal D. Os 12 bits restantes são utilizados para alinhamento e sincronização.

A interface I.431 é utilizada para acesso primário T1 (23B+E), enquanto a interface G.703/704 é utilizada em acesso E1 (30B+D). T1/E1 foram discutidos no âmbito das hierarquias digitais síncronas no volume anterior.

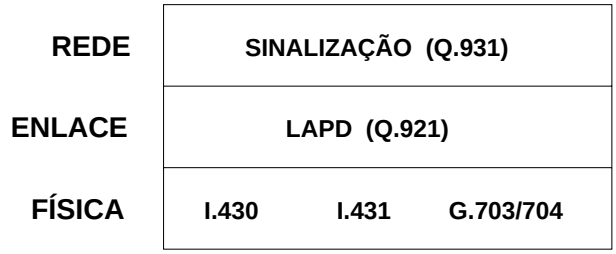

Figura 2.3: Protocolos RDSI para a UNI

A camada de enlace da RDSI utiliza o protocolo ITU-T Q.921 (LAPD), um subconjunto do protocolo HDLC descrito no volume anterior. Q.921 define como o campo Endereço do protocolo HDLC é estruturado. Os demais campos são idênticos ao HDLC.

A camada de rede da RDSI emprega o protocolo ITU-T Q.931. Este protocolo é utilizado no transporte confiável da sinalização através do canal B.

Mensagens Q.931 são transportandas no campo de dados do protocolo LAPD, sendo classificadas em quatro tipos:

1. Estabelecimento de conexões virtuais comutadas (SVCs);
2. Término de SVCs;
3. Informação sobre SVCs (solicitação de suspensão/retomada de uma conexão);
4. Miscelânea (negociação de recursos de rede, monitoramento de conexões, informação sobre recursos disponíveis).

O termo conexão no âmbito RDSI significa tanto o estabelecimento de conexão entre equipamentos diretamente conectados à esta rede (PBX, Fax, etc.), quanto equipamentos em redes de comutação de pacotes acessadas via RDSI. No primeiro caso a conexão é denominada "conexão em modo circuito", enquanto no segundo caso "conexão de acesso em modo pacote". Conexões de acesso no modo pacote são utilizadas para abertura de SVCs em redes Frame Relay ou X.25 quando acessadas via RDSI.

2.4 RDSI: Serviços

Os padrões ISDN definem três tipos de serviços:

1. Serviços "Bearer": serviços de comunicação confiável de voz, dados, vídeo, etc. São serviços de transporte de informação no nível da camada de rede do modelo OSI;
2. Teleserviços: constituem serviços de aplicação (camada 7 do modelo OSI) oferecidos sobre os Bearer Services;
3. Serviços Suplementares: utilizados usualmente em conjunção com algum Teleserviço.

Serviços "Bearer" são subdivididos em serviços em modo circuito (Circuit Mode Bearer Services) e em modo pacote (Packet Mode Bearer Services). O modo circuito provê às aplicações circuitos digitais múltiplos de 64 Kbps utilizados tanto para o transporte de voz digitalizada quanto para

o tranporte de dados. O modo pacote é um serviço que permite ao usuário ISDN o acesso a uma rede X.25 através de um circuito permanente ou comutado.

Teleserviços utilizam os Serviços "Bearer" em modo circuito para o provimento dos chamados *serviços telemáticos*. São exemplos de Teleseriços: telefonia (áudio à 3.1 kHz), teletexto, telefax, videotexto, telex, teleconferência videoconferência, áudio de alta definição (à 7 kHz).

Finalmente, os Serviços Suplementares são funcionalidades que podem ser agregadas aos Teleserviços. Por exemplo: identificação do chamador; taxação reversa (chamada a cobrar) e transferência de chamada para outro terminal.

2.5 RDSI: Sinalização Número 7

A Sinalização Número 7 (SS7: Signaling System Number 7) é um conjunto de especificações para sinalização em redes baseadas em comutação de circuitos. SS7 é empregada para sinalização tanto na rede telefônica convencional quanto em redes RDSI. SS7 provê mecanismos para o estabelecimento, controle e término de chamadas entre usuários da rede. Importante notar que a SS7 é empregada no interior da rede, entre centrais de comutação (exchanges).

A Sinalização Número 7 é baseada em técnica de comutação por pacote. Portanto, redes comutadas por circuito empregando SS7 implementam uma rede dedicada comuada por pacote exclusiva para sinalização. Esta rede de sinalização consiste de canais digitais dedicados de 64 Kbits/s[1] para o tráfego de sinalização.

SS7 utiliza um conceito denominado *Sinalização por Canal Comum*. Este conceito é o contraposto da sinalização *em banda* onde as mensagens de sinalização são propagadas pelos mesmos canais utilizados para o transporte de dados. As redes X.25 e IP utilizam sinalização em banda: pacotes de controle (sinalização) X.25 e mensagen ICMP trafegam pelos mesmos links que pacotes X.25 de dados e datagramas IP. A sinalização por canal comum utiliza uma rede separada para sinalização, como ilustrado na figura 2.4. Esta rede em geral emprega a mesma infra-estrutura de transmissão da rede de transporte, mas logicamente se constitui de uma rede separado, com canais e protocolos dedicados à transferência de mensagens de sinalização. Sinalização por canal comum possui a algumas vantagens em relação à sinalização em banda, notadamente:

- a sinalização é mais eficiente pois utiliza canais dedicados;
- os protocolos de sinalização são separados dos protocolos de transferência de dados, permitindo, por exemplo, a introdução de novas funções de sinalização.

SS7 é a base para as chamadas Redes Inteligentes (RI) onde novos serviços podem ser disponibilizados graças a uma estrutura flexível de sinalização.

2.5.1 SS7: Arquitetura Funcional

A figura 2.5 ilustra a arquitetura funcional da rede SS7. Um Ponto de Sinalização (SP: Signaling Point) é um nó capaz de iniciar ou receber mensagens de sinalização. Usualmente, um SP recebe requisições de sinalização não-SS7 do usuário (via Q.931, por exemplo), converte a requisição para uma mensagem equivalente SS7, e encaminha esta mensagem para o SP de destino. Este, executa um procedimento inverso, convertendo a mensagem SS7 para um formato adequado ao terminal chamado. Enfatiza-se novamente que os equipamento terminais não sinalizam chamadas com a SS7. Um Ponto de Transferência de Sinalização (STP: Signaling Transfer Point) é um nó da rede

[1] Apesar de raro, canais analógicos com largura de faixa de 3 ou 4 KHz podem ser empregados também.

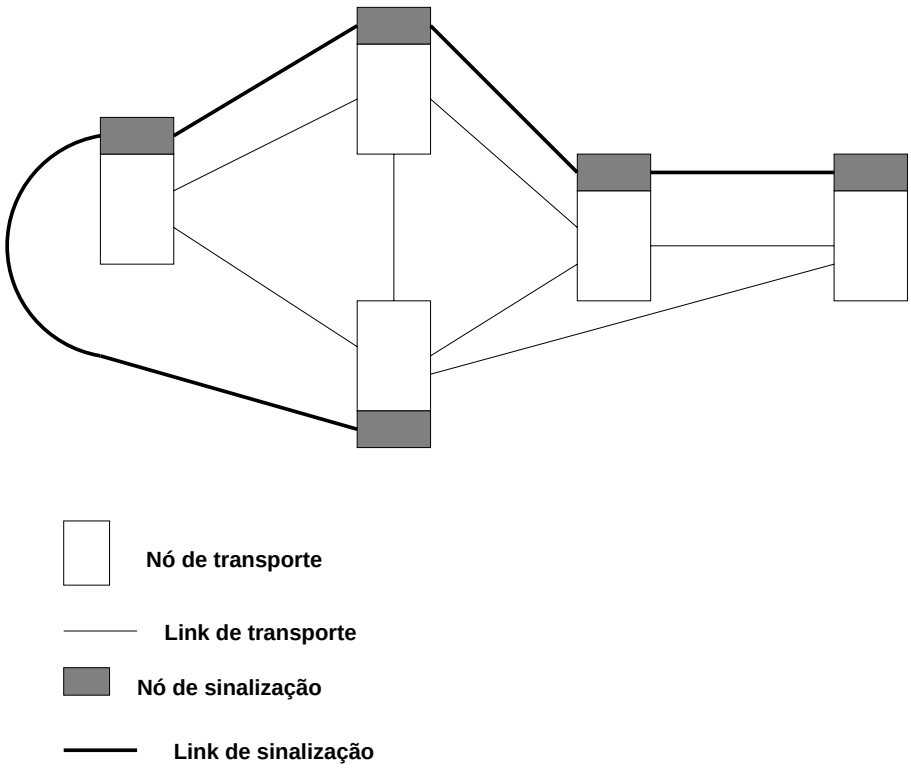

Figura 2.4: Rede de transporte e de sinalização

capaz de rotear mensagens SS7. Nada impede um STP ser também um SP. STPs equivalem aos roteadores de uma rede de dados. O último elemento funcional, *link* de sinalização, conecta pontos de sinalização (SP ou STP).

Uma rede SS7 também pode conter Pontos de Controle de Serviço (SCP: Service Control Point). SCPs contém software (lógica do serviço, bases de dados, etc.) que implementa determinado serviço. Por exemplo, um SCP pode implementar um serviço 800 capaz de rotear uma chamada para um ponto de atendimento mais próximo do terminal chamado

Note ainda na figura 2.5 que uma rede de sinalização pode apresentar uma estruturação hierárquica (tal qual as redes de dados) e que por razões de confiabilidae um SP usualmente se interliga a mais de um STP.

2.5.2 SS7: Arquitetura de Protocolos

A arquitetura de protocolos da Sinalização Número 7 é ilustrada na figura 2.6. Os protocolos MTP (Message Transfer Part) níveis 1, 2 e 3 implementam um serviço de datagrama numa rede SS7. MTP nível 1 é um protocolo de camada física (OSI) que especifica a transmissão através de canais digitais ou analógicos. MTP nível 2 é um protocolo de enlace inspirado no protocolo HDLC. MTP nível 3 é um protocolo de rede capaz de rotear mensagens de sinalização entre de um SP de origem e um SP de destino.

Obviamente, mensagens de sinalização, dada a sua importância tanto para a rede quanto para as aplicações devem trafegar por um serviço de entrega confiável, o que implica num serviço orientado a conexão. Com esta finalidade, o protocolo SCCP (Signaling Connection Control Part) acrescenta

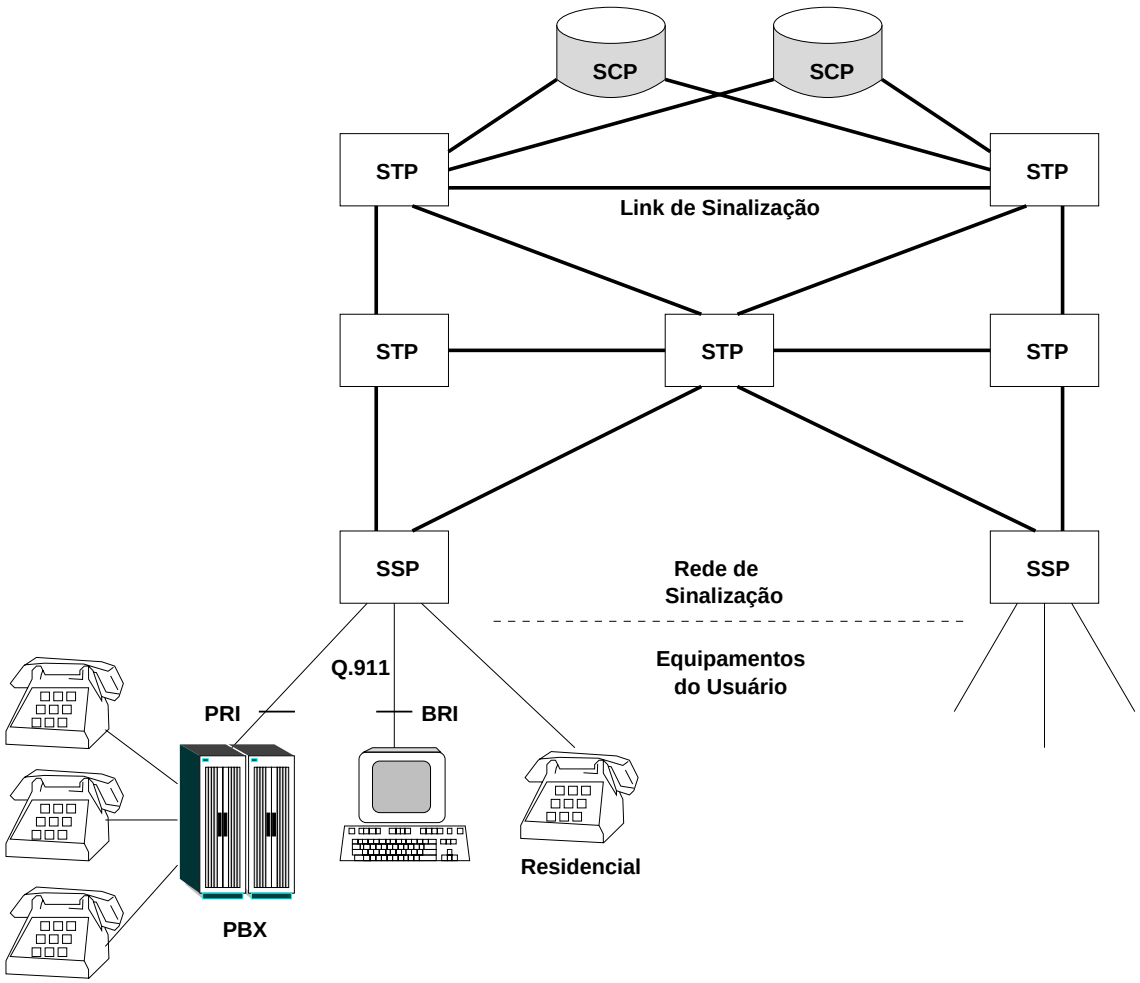

Figura 2.5: Arquitetura Funcional da SS7

à pilha MTP algumas funções adicionais (ainda no nível de camada 3), notadamente um serviço de entrega de mensagens orientado a conexão. Outras funções acrescentadas pelo protocolo SCCP dizem respeito à gerência de links, de tráfego e de roteamento. Resumindo, os protocolos MTP e SCCP juntos provêem um serviço de entrega confiável para as mensagens de sinalização.

O protocolo ISUP (ISDN User Part) é um protocolo que agrega as funções das camadas 4, 5, 6 e 7 do modelo OSI. ISUP permite a conversão entre a sinalização baseada no protocolo Q.931 (isto é, sinalização na UNI) e a sinalização SS7 (isto é, no interior da rede). Portanto, ISUP está presente apenas nos SPs, nao sendo necessário nos STPs, exceto, obviamente, se este é também um SP. ISUP utiliza o protocolo SCCP para transferência de mensagens SS7 de sinalização.

Finalmente, o protocolo TCAP (Transaction Capabilities User Part) é um protocolo de aplicação que permite a manipulação das bases de dados presentes nos SCPs. TCAP é utilizado para transferência de chamadas do serviço 0800 entre SCPs.

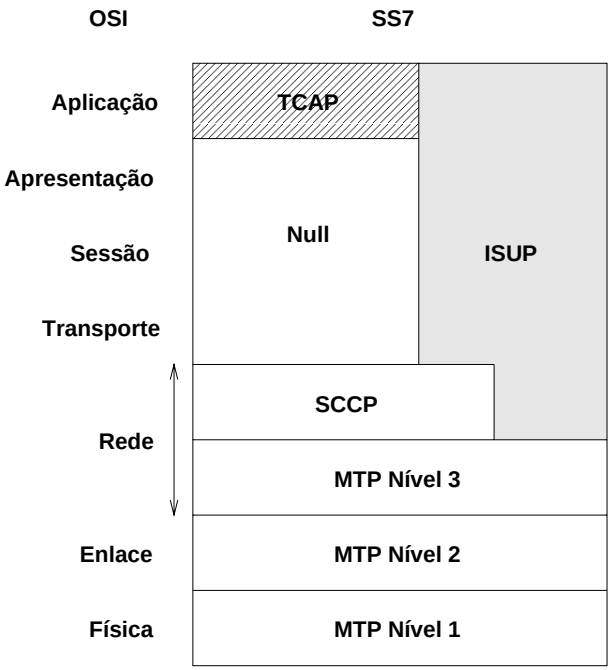

Figura 2.6: Arquitetura de Protocolos da SS7

Capítulo 3

Redes Frame Relay

3.1 Comutação Rápida de Pacotes

A crescente demanda por interconexão de LANs geograficamente dispersas tem motivado o surgimento de soluções de redes de longa distância mais eficazes que X.25 ou SNA. A solução Frame Relay visa atender à estas necessidades. Frame Relay combina a flexibilidade da comutação por pacote em multiplexar várias sessões de comunicação sobre um único *link* físico, com o baixo atraso propiciado pela a comutação por circuito. À esta combinação denomina-se Comutação Rápida de Pacotes (Fast Packet Switching).

Comutação rápida de pacotes elimina o processamento de camada de rede (tal qual ocorre em redes IP, X.25 e SNA), além de simplificar sobremaneira a camada de enlace do modelo OSI. Como consequência imediata, a comutação de pacotes é processada na camada de enlace, não na de rede. A remoção da camada de rede elimina as funções de roteamento dinâmico, uma das causas do atraso na propagação de um pacote de rede. A simplificação da camada de enlace se dá na detecção e recuperação de erros. Ao invés de processar a detecção de erro nó após nó (hop-by-hop) como ocorre no protocolo HDLC, por exemplo, processa-se a detecção de erros apenas fim-a-fim (isto é, no ingresso e na saída da rede). Em geral, a comutação rápida de pacotes não implementa recuperação de erros (via retransmissão): pacotes com erro são simplesmente descartados. É intuitivo que todas estas simplificações resultam numa propagação mais rápida de pacotes, com melhor aproveitamento da infra-estrutura de comunicação como um todo.

A figura 3.1 ilustra a comutação rápida de pacotes face a comutação tradicional de pacotes.

Comutação rápida de pacotes tira proveito ainda das modernas tecnologias de transmissão, principalmente baseadas em fibra ótica, e dos dispositivos rápidos de comutação (switches) baseados em VLSI e ASICs. O resultado é uma baixíssima taxa de erros minimizando a ausência dos mecanismos de recuperação de erros.

Exemplo de tecnologias que empregam comutação rápida de pacotes são Frame Relay, DQDB e ATM[1]. Frame Relay é composto de um conjunto de padrões promovidos pela ANSI e ITU-T. Um fórum de fabricantes, o Frame Relay Forum, que conta atualmente com 120 empresas, tem produzido recomendações visando garantir a interoperabilidade de produtos Frame Relay. Estas recomendações incluem funcionalidades mínimas, testes de interoperabilidade, etc. A pilha de protocolos Frame Relay segue a filosofia das Redes Digitais de Serviços Integrados (RDSI).

[1]DQDB e ATM empregam pacotes de tamanho fixo (53 bytes) denominados *células*.

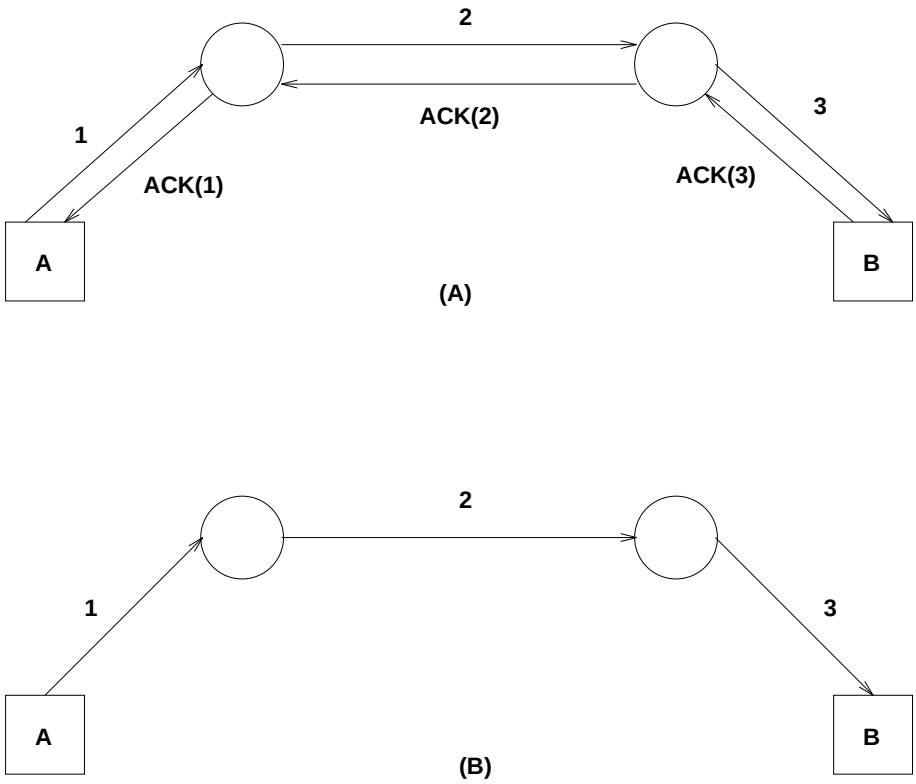

Figura 3.1: Comutação de pacotes tradicional (A) e comutação rápida de pacotes (B).

3.2 Frame Relay

A especificação do Frame Relay, denominada *Frame-Mode Bearer Services* (ITU-T I.123), descreve dois serviços de comutação de pacotes sobre Redes Digitais de Serviços Integrados. O primeiro serviço segue a filosofia da comutação rápida de pacotes, enquanto o segundo segue a filosofia clássica de comutação de pacotes similar ao X.25. A figura 3.2 ilustra a pilha de protocolos Frame Relay. No plano de controle (sinalização) exite o protocolo de enlace confiável LAPD (ITU-T Q.921) que opera sobre o canal de sinalização da RDSI (canal D, a 16 ou 64 Kbits/s). Sobre este protocolo opera os protocolos de sinalização Q.933 denominado Local Management Interface (LMI) e Q.931 (sinalização RDSI).

O plano do usuário utiliza um ou mais canais de dados da RDSI, tanto no modo de acesso básico quanto no modo de acesso primário. Neste plano o protocolo Q.922 (LAPF) define um enlace fim-a-fim. A especificação LAPF estabelece dois componentes: Q.922 Núcleo e Q.922 Controle. Q.922 Núcleo implementa um enlace sem recureração de erros ou controle de fluxo, enquanto Q.922 Controle implementa funções adicionais de recuperação de erros e controle de fluxo. Q.922 Controle é opcional e, quando presente, executa apenas no equipamento do usuário. Na prática, as funções do Q.922 Controle são deixadas a cargo dos protocolos de rede ou transporte operando sobre Frame Relay[2]. Importante ressaltar que nos nós de comutação apenas o protocolo Q.922 Núcleo é utilizado. A figura 3.3 ilustra os protocolos do plano do usuário.

[2]Por exemplo, o protocolo TCP/IP oferece recuperação de erros e controle de fluxo fim-a-fim, eliminando a necessidade do Q.922 Controle.

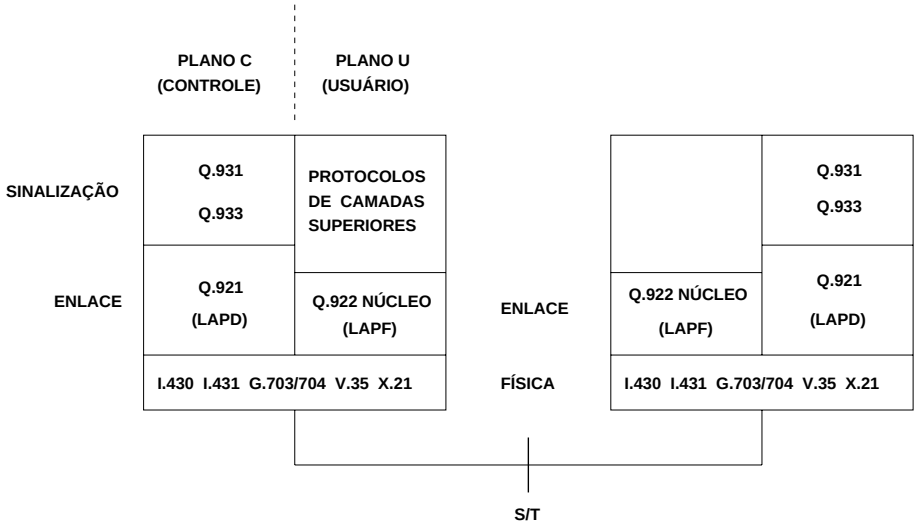

Figura 3.2: Pilha de Protocolos Frame Relay.

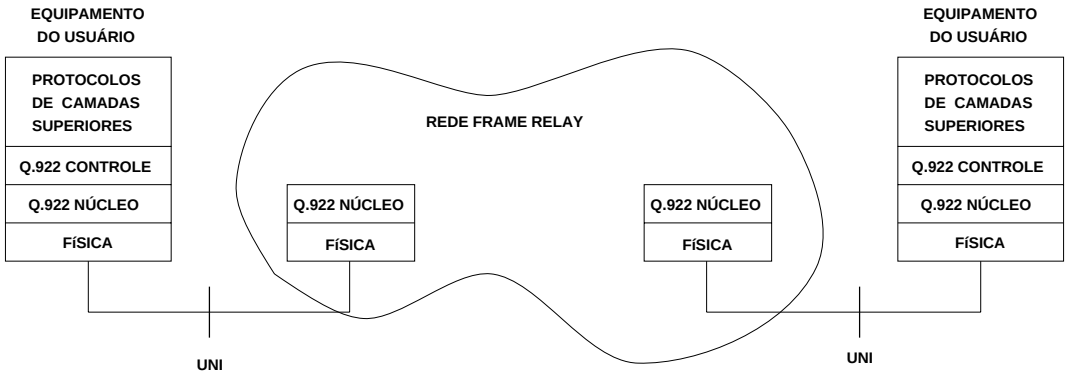

Figura 3.3: Protocolos Frame Relay no plano do usuário.

3.3 Frame Relay: Nível Físico

Como Frame Relay foi definido pela ANSI e ITU-T como um serviço sobre RDSI, seu nível físico utiliza as interfaces de acesso básico e primário da RDSI, descritas na seção 2.3.

Quando o serviço Frame Relay é oferecido sobre outra rede que não RDSI (como o serviço FastNet da Embratel), seu nível físico utiliza as interfaces X.21, V.35 e G.703.

3.4 Frame Relay: Enlace

Conforme ressaltado anteriormente, neste nível o Frame Relay utiliza o protocolo ITU-T Q.922 Núcleo que implementa um enlace sem recuperação de erros ou controle de fluxo. Este protocolo executas as seguinte funções:

- delimitação e alinhamento de quadros;
- multiplexação e desmultiplexação de quadros sobre um *link* físico;

- inspeção do quadro (tamanhos máximo e mínimo, número inteiro de bytes, etc.);
- detecção (sem recuperação) de erros.

Q.922 define um formato de quadros dado na figura 3.4.

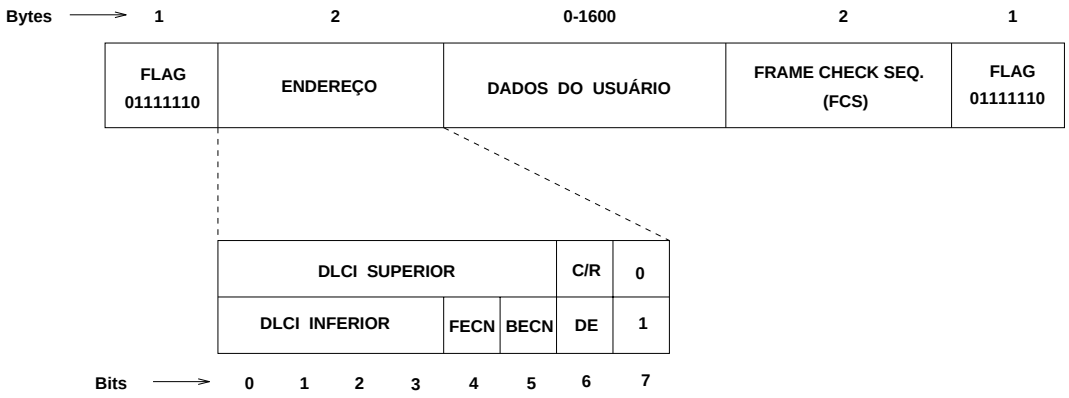

Figura 3.4: Formato do quadro Frame Relay de enlace (Q.922).

O quadro é delimitado por um octeto (Flag) de valor 01111110 (hexadecimal 7E). Todo quadro começa com um ou múltiplos flags. Um Flag de término de quadro pode ser utilizado como início do quadro seguinte.

O protocolo Q.922 determina que seis 1s consecutivos só pode ocorrer no camplo Flag. Para tal utiliza-se a técnica de enchimento de bits.

O campo Endereço pode conter dois, três e quatro bytes. Dado que a maioria (ou totalidade) das implementações utilizam dois bytes neste campo, este texto irá tratar apenas este caso. Este campo contém os seguintes sub-campos:

- DLCI (Data Link Connection Identifier): identifica o circuito virtual (conexão lógica) à qual o quadro está associado. DLCI possui significado local ao *link* o que significa que um nó de comutação pode alterar este campo quando envia o quadro ao próximo nó.

  Uma mesma conexão física à rede pode servir de "passagem" para multiplas conexões lógicas,

  Este campo possui 10 bits cuja faixa é dada pela tabela 3.1

- C/R (Comando/Resposta): Não empregado no Frame Relay.
- FECN (Forward Explicit Congestion Notification): um bit que quando ativo notifica o usuário a existência de congestionamento na direção de envio do pacote.
- BECN (Backward Explicit Congestion Notification): um bit que quando ativo notifica o usuário a existência de congestionamento na direção oposta à de envio do pacote.
- DE (Discard Elegibility): um bit que quando ativo indica que o frame possui prioridade para descarte em situações de congestionamento.

  FECN, BECN e DE serão detalhados na seção 3.6.

- Informações do Usuário: dados das camadas superiores em múltiplos de 8 bits. O valor máximo depende da rede, sendo que 1600 bytes é usual para redes Frame Relay.

- FCS (Frame Check Sequence): código de redundância cíclica (CRC) com 16 bits gerado pelo polinômio $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. FCS cobre todos os campos exceto Flags e, obviamente, FCS. Quadros com FCS incorreto são descartados. FCS deve ser recomputado caso o campo DLCI seja modificado por um nó de comutação.

Início	Final	Utilização
0	0	Protocolo LMI
1	15	Reservado
16	991	Conexões do usuário
992	1007	Gerenciamento da camada 2
1008	1022	Reservado
1023	1023	Gerenciamento da camada 2

Tabela 3.1: Faixas de utilização do DLCI (valores em decimal).

3.5 Frame Relay: Sinalização

A sinalização em redes Frame Relay se dá através do protocolo Q.931 (rede) e Q.921/LAPD (enlace). Q.921 é praticamente idêntico ao HDLC descrito no texto anterior. O protocolo Q.931 é empregado para abertura de conexões dinâmicas (SVC: Switched Virtual Circut) tal qual em redes RDSI. Para redes Frame Relay são definidos um conjunto de Elementos de Informação específicos para a sinalização Frame Relay.

Entretanto, o serviço Frame Relay, na maioria dos casos, é oferecido independente dos serviços RDSI. Por exemplo, no Brasil, a Embratel oferece Frame Relay sofre sua rede DPN-100 (não RDSI). Nestes casos, a sinalização entre a rede e o equipamento do usuário (Q.921/Q.931) não é empregada, utilizando-se em seu lugar canais virtuais permanentes (PVC: Permanent Virtual Circuit). PVCs são estabelecidos por ocasião da contratação do serviço, possuem DLCI fixo e encontram-se sempre ativos para o usuário. Opcionalmente, o terminal do usuário pode trocar informações com a rede para fins de monitoramento do estado do canal. O protocolo LMI (Local Management Interface) é empregado para esta finalidade (ver seção 3.8).

3.6 Controle de Congestionamento

Controle de congestionamento é um conjunto de políticas empregadas pela rede para:

- otimizar o desempenho da rede;
- minimizar a ocorrência de situações de congestionamento;
- minimimar as consequências de um congestionamento;
- distribuir os recursos de forma equânime entre os usuários (ou, evitar o monopólio de recursos por parte de um subconjunto de usuários).

Redes Frame Relay implementam duas estratégias de controle de congestionamento:

1. notificar o usuário a ocorrência de congestionamento;

2. descartar quadros.

A primeira estratégia visa alertar o usuário sobre um possível descarte de pacotes que trafegam pelas conexões por ele mantidas. É esperado que, uma vez notificado, o usuário diminua o volume de tráfego pelas conexões que mantém, colaborando assim para aliviar a situação de congestionamento da rede. Entretanto, nenhuma especificação existe neste sentido nos padrões que compõem o Frame Relay (em outras palavras, a diminuição de tráfego é voluntária, não obrigatória).

A segunda estratégia é empregada pela rede nas situações em que o nó de comutação é incapaz de dar vazão ao volume de tráfego que recebe. Como o Frame Relay usa multiplexão estatística esta situação ocorre quando os picos de tráfego coincidem em determinados *links*.

O informe de congestionamento pode se processar "em banda" ou "fora de banda". No primeiro caso a própria conexão de dados é utilizada para informe de congestionamento. No segundo caso, uma conexão dedicada ou um canal dedicado (canal D) são utilizados para informe de congestionamento.

O controle de congestionamento "em banda" emprega os campos FECN e BECN para informar o usuário a ocorrência de congestionamento. A figura 3.5 ilustra a situação onde existe congestionamento na direção de B. Importante notar que não necessariamente a ocorrência de congestionamento num sentido implica o mesmo no sentido oposto. É o caso, por exemplo, de um nó de comutação ter exaurido todos seus *buffers* de recepção mas disponibilizar de *buffers* para transmissão.

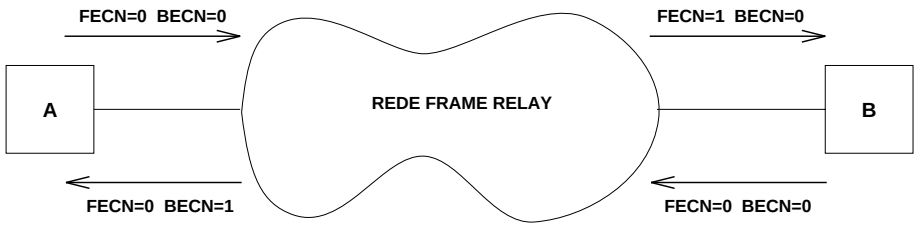

Figura 3.5: Situação de congestionamento em direção do terminal B.

O esquema empregando FECN e BECN só é efetivo quando uma conexão possui tráfego nos dois sentidos. Por exemplo, no caso da figura 3.5, se existe somente tráfego de A para B, A jamais tomará conhecimento da situação de congestionamento na rede.

O controle de congestionamento "fora de banda" emprega protocolos de gerência. No âmbito do Frame Relay estes protocolos são: LMI (Local Management Interface) que utiliza uma conexão com DLCI igual a zero; e o CLLM (Consolidated Link Layer Management) que utiliza uma conexão com DLCI igual a 1007. CLLM é raramente empregado e não será explorado neste texto. LMI será descrito na seção 3.8.

3.7 Policiamento de Tráfego

Dado que não existe qualquer obrigatoriedade por parte do usuário em diminuir o volume de tráfego quando recebe uma notificação de congestionamento, redes Frame Relay impõem certos limitantes para o tráfego. Estes limitantes são associados à cada conexão individualmente e, em geral, valem para ambas as direções do fluxo de dados na conexão. Estes parâmetros são listados a seguir:

- Bc (Commited Burst Size): determina uma quantidade de dados (bits) que a rede se compromete em transmitir durante um período de medição Tc e em situações normais (isto é, sem congestionamento);

- Be (Excess Burst Size): determina uma quantidade de dados (bits) que o usuário pode exceder o valor de Bc que a rede se compromete em transmitir durante um período de medição Tc caso haja banda disponível;

- CIR (Commited Information Rate): taxa de transmissão (bits/s) que a rede se compromete em transmitir durante um período de medição Tc e em situações normais (isto é, sem congestionamento);

- Tc (Committed Rate Measurement Interval): intervalo de tempo (segundos) utilizado para medir Bc e Be, CIR. Caso CIR e Bc sejam especificados, tem-se $Tc = \frac{Bc}{CIR}$.

Via de regra o valor de CIR numa conexão é menor que a velocidade de operação da interface de acesso. Entretanto, o somatório dos CIRs para as conexões que compartilham uma interface é maior que a capacidade desta. Por exemplo, para acesso de 256 Kbits/s suportando três conexões virtuais pode-se definir valores de CIR iguais a 128 Kbits/s para cada conexão.

O valor de Be pode ser um percentual fixo acima de Bc, ou, caso só exista uma conexão na interface, Be é dado por $Be = C \times Tc - Bc$, onde C é a velocidade de operação da interface (Kbits/s).

O policiamento de tráfego emprega uma técnica denominada "balde furado" (leaky bucket). A analogia se dá imaginando o arranjo da figura 3.6. Os bytes submetidos à rede para transmissão possui a vazão numericamente igual à vazão de água que entra no balde furado da esquerda cujo volume é Bc. O furo deste balde deixa escapar uma vazão de água numericamente igual a CIR. Esta vazão é transmitida pela rede em condições normais. O excesso deste balde é despejado no segundo balde furado (o da direita), este com volume Be. O furo deste balde possui vazão igual a $\frac{Be}{Tc}$, sendo que os quadros aos quais pertencem estes bytes são marcados com DE igual a 1 (isto é, passíveis de descarte, mas transmitidos caso haja capacidade de rede sobrando). Os excesso deste secundo balde é descartado pela rede e não transmitido sob qualquer hipótese.

Pode-se observar agora que o valor de Tc está associado a uma janela móvel para fins de policiamento de tráfego. Um valor pequeno de Tc indica que pequenas variações em torno de CIR pode causar descarte de quadros. Retomando a analogia com baldes, Tc pequeno indica baldes de baixo volume, portanto sujeitos ao transbordamento mesmo para pequenas variações de fluxo de entrada.

A estratégia de controle de fluxo apresentada é colocada em prática do lado do emissor. Qual a estratégia para o lado do receptor ? Obviamente um arranjo similar não é viável no lado do receptor, pois não tem sentido marcar o campo DE para um quadro já recebido. Uma estratégia usual de controle no lado do receptor é dada abaixo. Seja um quadro recebido num lado da conexão.

1. se o controle de fluxo neste lado da conexão está descartando quadros[3] então o quadro recebido é descartasdo (isto é, não é entregue ao DTE).

2. se o controle de fluxo neste lado da conexão está marcando quadros com DE=1 [4] e se o quadro recebido possui DE=1, então o quadro recebido é descartado.

3. Se as hipóteses anteriores não forem verificadas, o quadro é entregue ao DTE, independente do valor do campo DE.

[3] Balde da esquerda na figura 3.6 transbordando.

[4] Balde da direita na figura 3.6 vazando mas não transbordando.

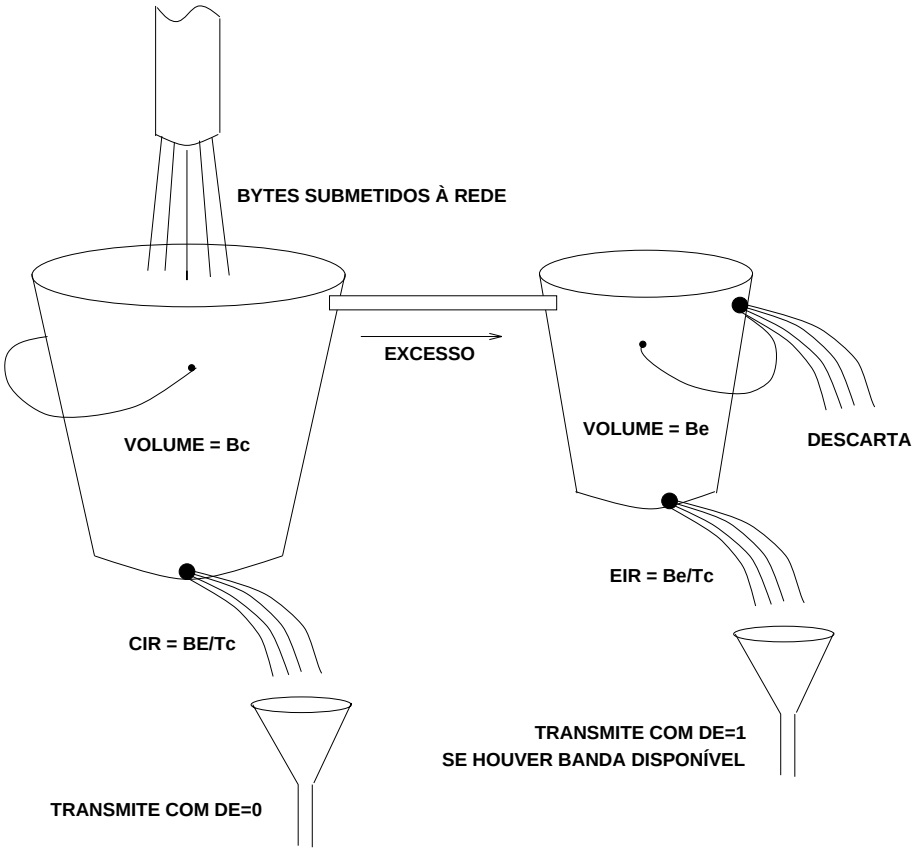

Figura 3.6: Técnica de policiamento *leaky bucket*.

3.8 LMI (Local Management Interface)

LMI (Local Management Interface) é um protocolo de gerência de redes Frame Relay. O protocolo é operado entre dois nós conectado por um *link* físico, tipicamente entre o lado do usuário (DTE) e a rede (nó de comutação ao qual o DTE se conecta). Mensagens LMI trafegam na conexão virtual com DLCI igual a zero.

Existem duas variantes deste protocolo: a especificação ANSI T1.617 e ITU-T Q.933. Estas variantes não interoperam, sendo necessário configurar ambos os lados do *link* com a mesma variante.

O protocolo LMI opera no modo requisição-resposta ou no modo de notificação assíncrona. No primeiro modo o DTE requisita à rede o estado de uma conexão individual ou de todas as conexões abertas pelo DTE. Neste modo a operação pode ser unidirecional (só o DTE envia requisição), ou bidirecional (DTE e rede enviam requisição e respostas). No segundo modo, a rede envia ao DTE uma notificação sobre a mudança do estado da conexão assim que tal ocorrer.

Um quadro LMI é dado pela figura 3.7.

O formato do quadro é o mesmo do protocolo Q.922 (figura 3.4) com DLCI=0, CR=0, FECN=0, BECN=0 e DE=0. O campo Tipo possui os seguintes valores em hexadecimal: 75 (requisição de estado) e 7D (informe de estado). Existem outros dois tipos para estabelecimento e término de conexões comutadas, que na prática não são utilizados dado que Frame Relay opera com conexões permanentes.

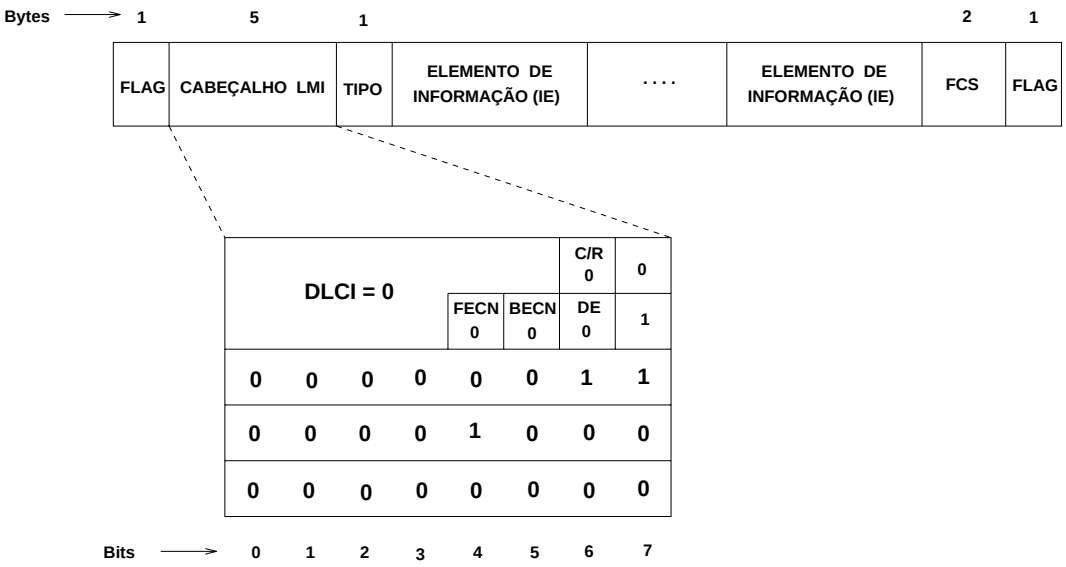

Figura 3.7: Quadro do protocolo ITU-T Q.933 (LMI).

O campo de dados do quadro carrega as mensagens do protocolo. O protocolo permite a verificação de integridade do *link* (LIV: Link Integrity Verification); a notificação do estado de uma conexão virtual; e o informe da entrada ou saída de operação de uma conexão. Estas mensagens têm a forma de elementos de informação (IEs) conforme ilustrados na figura 3.8. IEs podem ser de três tipos:

1. Requisição: se está-se solicitando o estado do *link*, de uma conexão virtual, ou de todas as conexões virtuais;

2. Verificação: utilizado para verificar a integridade do *link*;

3. Status: o estado da conexão virtual (ativo, inativo ou novo).

Uma requisição LMI é composta de dois IEs. O primeiro IE é sempre um IE de Requisição que estipula o tipo de requisição: verificação da integridade do link; estado de uma conexão; estado de todas as conexões. O segundo IE depende do tipo de requisição. Para requisições solicitando a verificação da integridade do *link* ou o estado de todas as conexões, o segundo IE é um IE de Verificação. Este IE contém os contadores N(S) e N(R) de módulo 8, que se prestam a detectar perdas tanto de mensagens de requisição quanto de resposta (o procedimento é análogo àquele do protocolo HDLC). Para requisições de estado de uma conexão em particular, o segundo IE é do tipo Status e discrimina o DLCI da conexão requisitada.

O formato da resposta é idêntica à da requisição, exceto que para o caso de solicitação do estado de todas as conexões, além dos IEs de Requisição e Verificação, é fornecida uma lista de IEs de Status (um IE por conexão).

No caso de notificação assíncrona, a mensagem é idêntica à resposta de uma requisição de estado de uma conexão (IEs de Requisição e de Status).

A figura 3.9 ilustra as requisições e respostas do protocolo LMI.

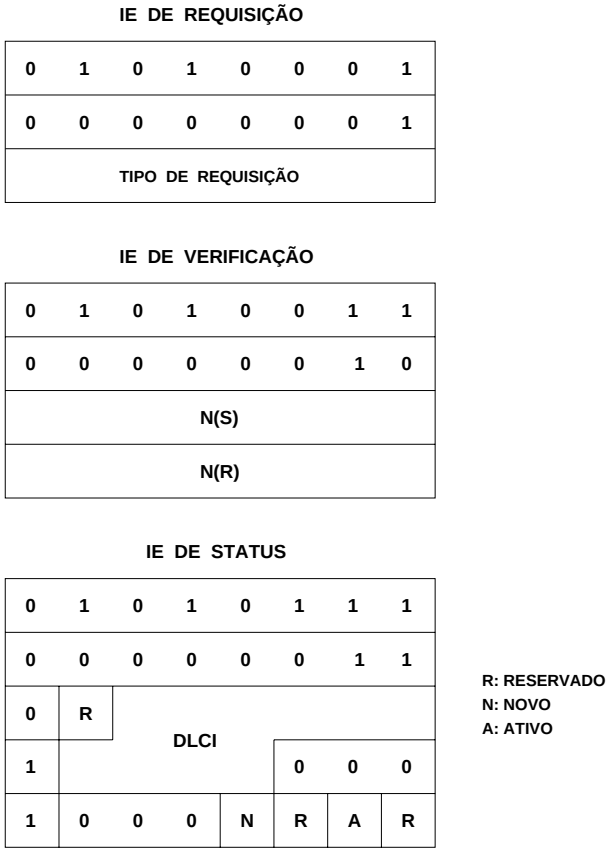

Figura 3.8: Elementos de Informação (IEs) do protocolo LMI.

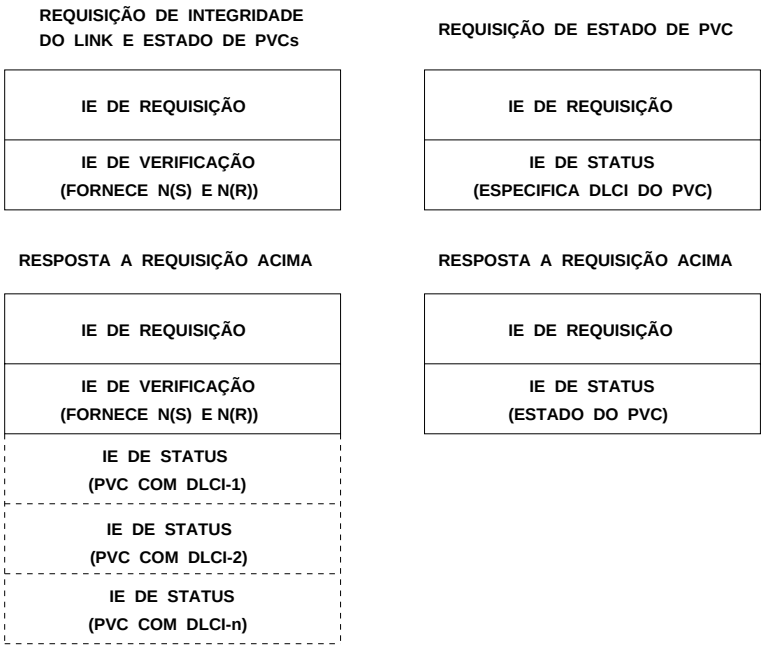

Figura 3.9: Requisições e respostas no protocolo LMI.

Capítulo 4

Redes ATM

O Modelo de Referência correspondente às Redes Digitais de Serviços Integrados Faixa Larga (RDSI-FL) possui o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como tecnologia básica. A figura 4.1 a seguir ilustra o Modelo de Referência para os protocolos RDSI-FL.

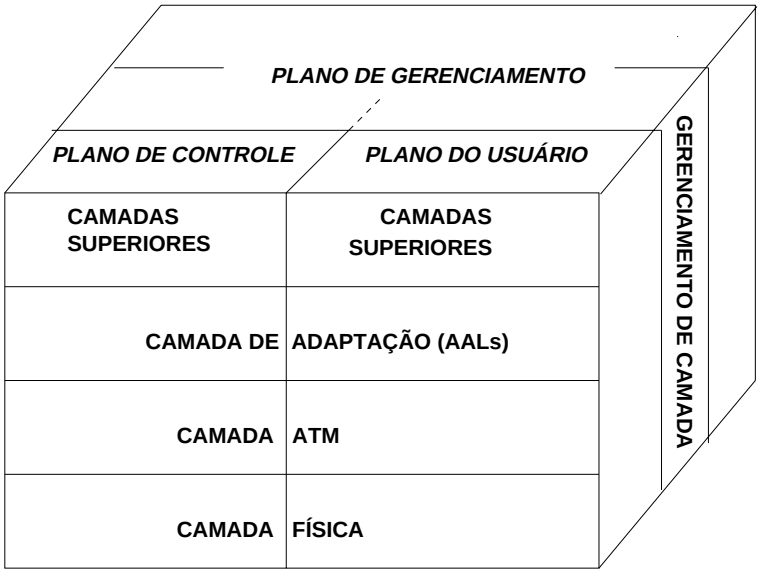

Figura 4.1: Modelo de Referência RDSI-Faixa Larga

Na parte de cima da figura estão especificados os planos que compõem o modelo. Os planos de usuário e de controle são formados por protocolos nas camadas superiores passando pelas camadas de adaptação e ATM até o nível da camda física. Ambos os planos utilizam camadas física e ATM comuns mas diferem nos protocolos correspondentes às camadas de adaptação e superiores.

O gerenciamento é dividido em 2 planos: plano relacionado ao gerenciamento de camada e gerenciamento de plano. Podemos observar na figura que o gerenciamento de camada possui interfaceamento com as camadas que compõem os planos do usuário e de controle. O plano de gerenciamento não possui uma estrutura em camadas e trata-se ainda de um plano para o qual não existem funções padronizadas. A idéia é de que se torne um plano voltado para o gerenciamento do sistema como um todo.

Na figura 4.2 estão especificadas as várias funções correspondentes às camadas do modelo de

referência. Podemos observar que as camadas física e de adaptação estão organizadas em sub-camadas.

Figura 4.2: Modelo de camadas e sub-camadas da RDSI-Faixa Larga

A camada física possui 2 sub-camadas: convergência de transmissão (TC) e dependente do meio físico (PMD). A sub-camada PMD é responsável pelo interfaceamento direto com o meio físico e para o encaminhamento/recebimento do fluxo de bits para/da sub-camada de convergência. O papel da sub-camada TC é o de inserir (extrair) as células ATM na (da) estrutura de transmissão utilizada. Por exemplo, no caso de uma rede síncrona (SDH/SONET) ou plesiócrana (PDH) a sub-camada TC insere as células recebidas da camada ATM no quadro da rede síncrona (ou plesiócrana) ou então realiza a função inversa. O objetivo principal da divisão da camada física em 2 sub-camadas é o de isolar a camada ATM do meio físico utilizado. Isto é obtido através da sub-camada de convergência que oferece uma interface comum para a camada de rede independentemente de qual tecnologia de transmissão esteja sendo utilizada. Outras funções importantes da sub-camada TC são o delineamento de células e o desacoplamento da taxa de células, funções estas que serão discutidas na seção correspondente à camada fiísica.

A camada ATM é responsável efetivamente pela multiplexação e controle das células ATM. Estas funções são realizadas tendo como base o conteúdo do cabeçalho das células. As células nesta camada são recebidas e enviadas da/para a camada de adaptação (AAL). Esta última também é dividida em 2 sub-camadas: sub-camada de segmentação e remontagem (SAR) e sub- camada de convergência (CS). Esta última é ainda sub-dividida nos componentes Parte Comum (CP) e Específico do Serviço(SS). A camada AAL recebe/envia PDUs (*Protocol Data Unit*) de tamanho variável ou fixo da/para a camada superior.

4.1 Camada Física

Conforme discutido a camada física é dividida nas sub-camadas PMD e TC. Esta última converte o fluxo de células em um fluxo contínuo de bits para transmissão no meio físico. A sub-camada PMD é que se encarrega da transmissão efetiva dos bits. Para cada meio de transmissão a camada PMD é específica para a tecnologia de transmissão utilizada.

4.1.1 Sub-camada Dependente do Meio Física (PMD)

A sub-camada PMD é responsável pela temporização na transmissão dos bits no meio físico. A padronização das interfaces e sinalização nesta sub-camada é especificada por 3 entidades: ANSI (*American National Standard Institut*), CCITT/ITU-T ( ) e ATM-Forum. A seguir encontram-se resumidas as interfaces padronizadas:

- ANSI: define 3 interfaces óticas monomodo baseada na infra-estrutura SONET;
  - STS-1: 51,84 Mbps;
  - STS-3c: 155.52 Mbps;
  - STS-12c: 622,08 Mbps.

  A ANSI define também a utilização do PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*) do padrão 802.6 (DQDB) a 44,736 Mbps (DS3).
- CCITT/ITU-T: define 2 interfaces óticas baseadas na hierarquia SDH:
  - STM-1: 155,52 Mbps;
  - STM-4: 522,08 Mbps;

  Como as interfaces STM-1 e STM-4 do SDH têm taxas correspondentes às interfaces STS-3c e STS-12c do SONET, a interoperabilidade é simplificada entre os dois padrões. O ITU-T define também interfaces elétricas adicionais:
  - DS1: 1,544 Mbps;
  - E1: 2,048 Mbps;
  - DS2: 6,312 Mbps;
  - E3: 34,368 Mbps;
  - DS3: 44,736 Mbps usando PLCP;
  - E4: 139,164 Mbps.
- ATM-Forum: Define 4 interfaces físicas:
  - DS3/44,7 Mbps;
  - 100 Mbps;
  - 155,52 Mbps.

  Taxas a 25 Mbps e 51 Mbps serão padronizadas brevemente, assim como, a especificação ATM-FUNI (Frame UNI). As seguintes interfaces são especificadas para aplicações em redes privadas:

- TAXI: 100 Mbps baseada no FDDI;
- Canal de Fibra (*Fiber-Channel*) a 155,52 Mbps;
- Par trançado blindado (STP) a 155,52 Mbps.

4.1.2 Sub-camada de Convergência de Transmissão (TC)

A sub-camada de convergência converte um fluxo síncrono de bits do meio físico em células ATM ou vice-versa. Quando da transmissão a sub-camada TC mapeia as células no formato TDM (*Time Division Multiplexing*). No caso da recepção, a sub-camada TC realiza o delineamento de células, ou seja, corresponde à função de delimitar as células a partir de um fluxo de bits. Este delineamento é obtido diretamente como no caso de um quadro TDM, ou através do campo HEC (*Header Error Check*) no cabeçalho da célula ATM. Neste último caso, o campo HEC não será compatível com o conteúdo dos 5 bytes que compõem o suposto cabeçalho. Somente quando várias células tiverem o campo de HEC consistente com os 5 bytes do cabeçalho é que a sub-camada TC irá esperar os próximos 53 bytes indicando que as células foram delimitadas convenientemente.

A sub-camada de convergência também é responsável pela geração do cabeçalho HEC no momento da transmissão e na deteção/correção de erro no momento da recepção. O campo HEC possui tamanho de 1 byte e o seu conteúdo é aplicado aos 5 bytes do cabeçalho da célula ATM. O código HEC é capaz de corrigir qualquer erro de 1 bit do cabeçalho e detetar, sem corrigir, vários erros de múltiplos bits. Caso erro seja detectado no cabeçalho e não possa ser corrigido a célula é descartada.

Outra função importante realizada pela sub-camada consite no desacoplamento da taxa de células. Este desacoplamento é realizado através do envio de células livres quando a camada ATM não tem células para enviar. Esta função permite que a camada ATM possa operar com interfaces físicas de diferentes velocidades. Esta função é importante para os meios físicos que operam sincronamente (DS3, SONET, SDH, STP, *Fiber-Channel*) não sendo necessária, por outro lado, para os meios assíncronos como no caso do FDDI PMD. A figura 4.3 ilustra a função de desacoplamento da taxa de célula.

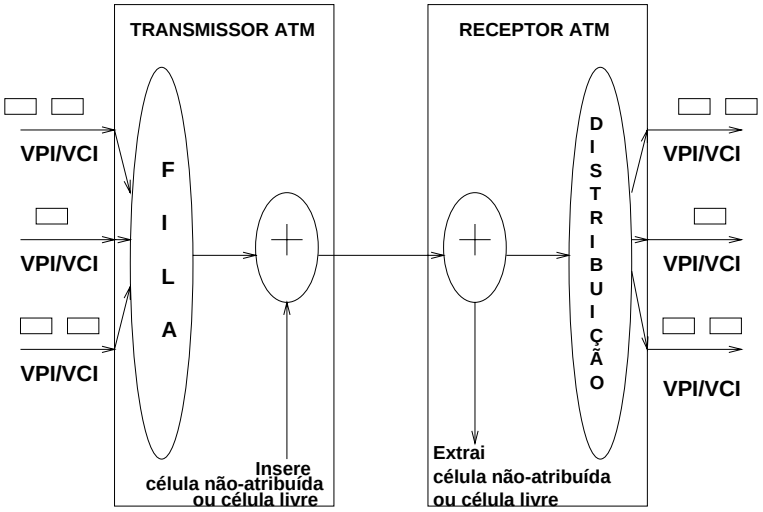

Figura 4.3: Desacoplamento de taxa de célula

Podemos observar na figura que o transmissor multiplexa vários fluxos de VPI/VCI para os

quais as células são armazenadas enquanto um *slot* da rede síncrona ainda não está imediatamente disponível. Caso o buffer esteja vazio no momento em que o próximo *slot* esteja pronto o transmissor insere uma célula não-assinalada (ou células livres). O receptor distribui as células atribuídas aos respectivos destinos. A identificação de uma célula não-atribuída ou de uma célula livre é realizada através de códigos especiais no cabeçalho da célula ATM que indicam estas condições da célula.

Existe uma incompatibilidade para esta função de desacoplamento da taxa de células entre as especificações do ITU-T e do ATM-Forum. O primeiro posiciona a função de desacoplamento da taxa de células na sub-camada TC da camada física e utiliza células livres para realizar o desacoplamento da taxa; por outro lado, o ATM-Forum coloca esta função na camada ATM e utiliza o código correspondente à célula não-atribuída. Esta diferença pode colocar problemas de interoperabilidade. O modelo do ITU-T enxerga a camada ATM como independente da camada física utilizar ou não a comunicação síncrona.

4.2 A Camada ATM

A camada ATM é responsável pelo processamento de células ATM. Antes de examinarmos as funcionalidades desta camada é conveniente compararmos as redes ATM com as redes clássicas de comutação de pacotes como o X.25 e o Frame Relay.

4.2.1 Pacotes X Células: Vantagens e Desvantagens

Pacote é uma unidade de comunicação associada à camada de rede que por sua vez é responsável pelo transporte de informação numa subrede de comunicação. O tamanho de um pacote varia de algumas centenas de bytes até alguns quilobytes. Por exemplo, em redes X.25 o tamanho do pacote situa-se, tipicamente, entre 128 e 512 bytes; enquanto em redes Frame Relay o pacote pode atingir 4 Kbytes. O comprimento máximo (e eventualmente mínimo) do pacote é ditado pelo protocolo de enlace que transporta o pacote, sendo este por sua vez limitado por restrições da camada física. Quando um pacote é gerado, seu tamanho depende da quantidade de dado que os protocolos das camadas superiores submetem para transmissão. Por exemplo, uma aplicação de terminal remoto gera pacotes com poucos bytes de comprimento, enquanto uma aplicação de transferência de arquivos gera pacotes de comprimento próximo ao máximo permitido.

As vantagens do emprego de pacotes que motivaram o surgimento das redes de comutação de pacotes (em oposição às redes de comutação de circuitos) são:

- poucas ações de controle por byte transportado (pacotes podem chegar a 64 Kbytes no protocolo IP !);
- baixo *overhead* de cabeçalho com relação à quantidade de dado transportada;
- flexibilidade propiciada aos protocolos de camada superior e de sinalização.

Apesar das vantagens citadas, a grande variação no tamanho do pacote causa sérios problemas aos nós intermediários (roteadores) responsáveis pelo seu roteamento. Pacotes são armazenados temporariamente em buffers enquanto a decisão de roteamento é tomada. A gerência de buffers para armazenamento de pacotes de tamanho variável é um problema complexo, similar ao problema de alocação dinâmica de memória em sistemas operacionais. Esta complexidade no gerenciamento de buffers faz com que o atraso causado na comutação de pacotes seja considerável, a ponto de inviabilizar muitas aplicações iterativas.

Além do tamanho variável, pacotes possuem certas características que aumentam o esfôrço de processamento por parte dos nós intermediários:

- cabeçalho de tamanho variável (campos opcionais);
- código de redundância cíclica para fins de detecção de erros no cabeçalho e, eventualmente, nos dados;
- procedimentos de fragmentação e remontagem;
- estratégia de roteamento complexa. classes de serviço.

As características acima introduzem uma aleatoriedade no tempo de processamento do pacote por parte do nó intermediário, aleatoriedade esta que advém, em última instância, do fato de pacotes consistirem de unidades de dado de dimensões variadas. Esta aleatoriedade dificulta a garantia de determinados parâmetros de qualidade de serviço tais como atraso fim-a-fim e jitter

(variação do atraso). A garantia de qualidade de serviço é imprescindível no emprego das redes de comutação de pacote num ambiente multiserviço onde dados, voz e vídeo trafegam pela mesma infra-estrutura de rede.

Uma alternativa ao emprego de pacotes de tamanho variável é restringir o comprimento da unidade de rede e mantê-lo fixo. Esta estrutura é denominada célula, sendo empregada em redes modernas de alta velocidade como ATM e DQDB. Tanto em ATM quanto em DQDB células são compostas de 53 bytes, destes, 5 dedicados ao cabeçalho. Portanto, o *overhead* associado ao processamento do cabeçalho para uma célula é sempre constante. O fato da célula possuir comprimento fixo de poucos bytes facilita a comutação de células por hardware, aumentando significativamente o desempenho do comutador ATM (roteadores processam pacotes por software !) tornando assim o processo de comutação mais simples, rápido, otimizado e previsível. Entretanto, algumas desvantagens no emprego de células existem, quais sejam:

- muitas ações de controle por byte transportado;
- pouca informação pode ser transportada no cabeçalho;
- alta fragmentação da informação gerada por protocolos das camadas superiores (o descarte de uma célula pode comprometer um pacote inteiro de transporte, por exemplo).

O emprego de células só se tornou viável quando a tecnologia de circuitos integrados em larga escala (VLSI) atingiu um patamar onde é possivel o desenvolvimento de comutadores capazes de processar dezenas de milhões de células por segundo. A confiabilidade dos circuitos de comutação e transmissão, principalmente com o advento da fibra ótica, minimiza sobremaneira as desvantagens citadas acima.

A comutação de células é uma tecnologia viável para suportar qualidade de serviço como atraso fim-a-fim, jitter e taxa mínima garantida. Esta característica é imprescindível para as redes multiserviço.

4.2.2 Conexões ATM

A camada ATM é orientada a conexão, o que implica o estabelecimento de um circuito virtual antes da transferência de dados. O circuito virtual é estabelecido via sinalização e será objeto mais à frente.

Conexões são identificadas *em cada sentido* por dois números: o identificador de caminho virtual (VPI: Virtual Path Identifyer), e o identificador do canal virtual (VCI: Virtual Channel Identifyer). VPI pode ser entendido como um duto que congrega dutos menores, os VCIs (figura 4.4). Vários VCIs compartilham um mesmo meio físico. A razão de se empregar dois identificadores agrupados hierarquicamente é facilitar a pesquisa na tabela de conexões quando o comutador processa uma célula, além de permitir o agrupamento de várias sessões de comunicação num mesmo *duto lógico* (caminho virtual) que liga o nó de origem ao destino.

VPI e VCI possuem escôpo num segmento (*link*) conectando dois equipamentos ATM (nós de comutação ou nós terminais). Isto significa que uma conexão é identificada por uma ênupla de pares VPI/VCI, cada par identificando a conexão num dado segmento (figura 4.5). Alguns valores de VPI e VCI são reservados para funções de gerência ou servidores específicos na rede ATM, como, por exemplo, os servidores de LAN emulada.

O estabelecimento de conexões virtuais pode se dar de forma (semi)permanente numa atividade de gerência de rede, ou dinamicamente via ação de sinalização. No primeiro caso temos as conexões

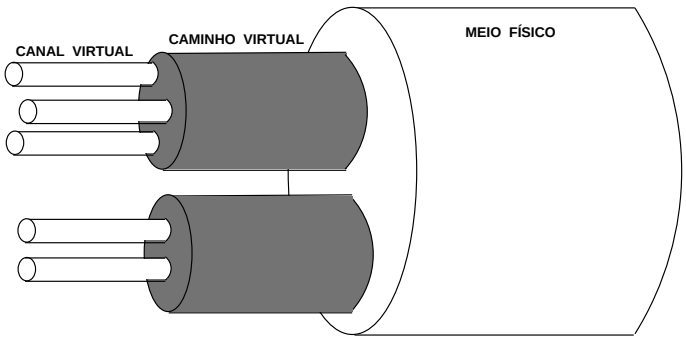

Figura 4.4: O conceito de canal virtual e circuito virtual

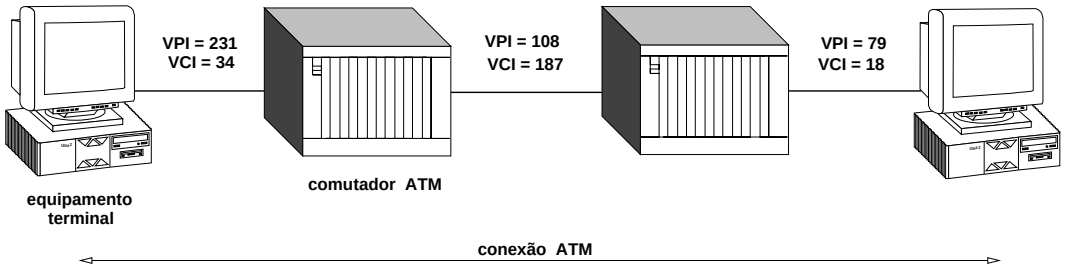

Figura 4.5: Uma conexão ATM

virtuais permanentes (PVC: Permanent Virtual Circuit), enquanto no segundo caso temos as conexões virtuais comutadas (SVC: Switched Virtual Circuit). Via de regra, PVCs são estabelecidos para sessões de comunicação de longa duração como, por exemplo, a conexão entre dois roteadores através de uma *nuvem* ATM. De maneira oposta, SVC são estabelecidos para sessões rápidas de comunicação como, por exemplo, acesso a um servidor de base de dados.

O identificador VPI possui 8 bits quando os dois elementos de rede forem conectados através da interface UNI (User-to-Network Interface), e 12 bits caso a interconexão seja através de interface NNI (Network-to-Network Interface). Em ambas as situações, o identificador VCI possui 12 bits.

4.2.3 A Célula ATM

O cabeçalho da célula ATM é composto de 5 bytes cujos campos são ilustrados na figura 4.6. O campo GFC (Generic Flow Control) é previsto para controle de fluxo entre um nó terminal e o comutador ATM ao qual o nó se conecta. Em outras palavras, GFC é utilizado apenas na UNI. A idéia é definir conexões "controladas" onde a transmissão por parte do nó controlado se dá com permissão explícita do nó controlador. Quando controle genérico de fluxo não é utilizado os bits do campo GFC são nulos. Controle genérico de fluxo implementa um protocolo tipo START/STOP (HALT/NO_HALT) que permite determinado comutador alocar um percentual fixo da capacidade total de um port para uma dada conexão. Este esquema de controle de fluxo não vem sendo utilizado na atualidade.

Os campos VPI e VCI identificam a conexão entre os elementos conectados. No caso dos elementos se conectarem via interface NNI, o campo VPI é acrescido de 4 bits reservados para o GFC.

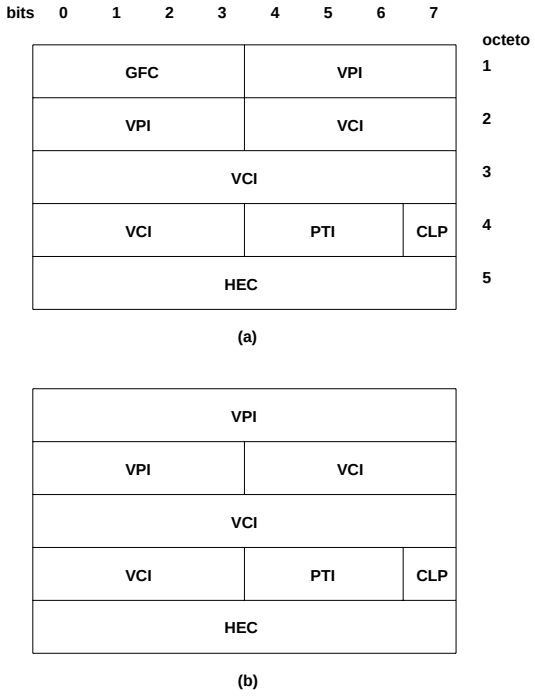

Figura 4.6: Cabeçalho de uma célula ATM

O campo PTI (Payload Type Identifyer), de 3 bits, é utilizado para identificar a carga sendo transportada pela célula. Os valores possíveis de PTI são dados na tabela 4.1. Basicamente, este campo identifica se a célula transporta dados das camadas superiores; dados de gerência, administração e manutenção (OAM: Operations, Administration and Maintenance); ou ainda dados de gerência de recursos (RM: Resource Management). Tráfego de OAM e RM são tratados na seção Gerência de Tráfego. No caso de tráfego do usuário, PTI informa ainda se a célula experimentou congestionamento em algum comutador do percurso e se a célula carrega o último fragmento de uma unidade de dado (SDU: Service Data Unit) da camada de adaptação tipo 5 (indicador AAI: ATM-user-to-ATM-user Indication).

PTI	Interpretação
000	Célula de dados, congestionamento não experimentado. AAI = 0
001	Célula de dados, congestionamento não experimentado. AAI = 1
010	Célula de dados, congestionamento experimentado. AAI = 0
011	Célula de dados, congestionamento experimentado. AAI = 1
100	Células OAM F5 referente ao segmento
101	Células OAM F5 fim-a-fim
110	Célula de gerência de recurso (RM)
111	Reservado para uso futuro

Tabela 4.1: Valores de PTI e seu significado

O campo CLP (Cell Loss Priority) de apenas 1 bit indica se a célula é passível de descarte ou não. Células que excederam o limite de tráfego estipulado entre dois elementos de rede podem ser marcadas com CLP=1. Em caso de congestionamento num comutador, este elege as células com CLP=1 para descarte antes de descartar células com CLP=0. Novamente, na seção Gerência de Tráfego a utilização deste campo será melhor elaborada.

Finalmente, o campo HEC (Header Error Check), de 8 bits, carrega o código de redundância cíclica para o cabeçalho da célula apenas (erros nos dados da célula são detectados pelos protocolos da camada de adaptação). O polinômio utilizado para o cômputo de HEC é: $X^8 + x^2 + x + 1$. Células com HEC inválido são descartadas pelo comutador. Como HEC possui apenas 8 bits, uma inversão aleatória de bits pode gerar o mesmo código HEC com probabilidade 1/256. Este campo é utilizado ainda para delimitar células empacotadas num quadro de transmissão (SDH, por exemplo). Recebido o quadro, o receptor percorre bit-a-bit grupos de 5 bytes (tamanho do cabeçalho) até encontrar um grupo onde o código HEC é válido, indicando um cabeçalho de célula válido. A sincronização se dá quando N células com HEC válido são recebidas.

Em suma, uma célula ATM carrega em seu cabeçalho identificadores de conexão (VPI/VCI), informações de gerência de tráfego (GFC, PTI e CLP), tipo de carga (PTI) e código de detecção de erros para os 4 primeiros bytes do cabeçalho.

4.2.4 Funções da Camada ATM

O ATM Fórum define seis funções para a camada ATM:

1. multiplexação/demultiplexação de células;
2. remoção de células desassociadas;
3. discriminação (identificação) de células;
4. identificação do tipo de carga;
5. identificação da prioridade da célula;
6. gerência de tráfego.

Numa dada interface física, o nó ATM recebe vários tipos de células:

- células transportando dado de aplicações;
- células de sinalização;
- células de gerência de operação (OAM);
- células de gerência de recursos (RM);
- células não associadas.

A identificação do tipo da célula se dá pelos campos GFC, VPI, VCI, PTI e CLP do cabeçalho, Alguns valores destes campos são reservados tanto para a interface UNI quanto para a interface NNI. A tabela 4.2 ilustra alguns dos os valores reservados para a interface UNI.

Uso	VPI	VCI	PTI	CLP
Célula não associada	00000000	00000000 00000000	Qualquer	0
Célula inválida	Qualquer não nulo	00000000 00000000	Qualquer	B
Sinalização em broadcast	Qualquer	00000000 00000010	0AA	C
Sinalização ponto-a-ponto	Qualquer	00000000 00000101	0AA	C
Célula RM para VC	Qualquer	00000000 00000110	110	A
Célula RM para VP	Qualquer	Qualquer valor que não 00000000 00000000, 00000000 00000011, 00000000 00000100, 00000000 00000110, 00000000 00000111	110	

Tabela 4.2: Alguns valores reservados de VPI, VCI, PTI e CLP

Na tabela 4.2, o símbolo "A" indica que o bit pode ter valor 0 ou 1; "B" indica que o bit não é examinado; e "C" indica que a célula é gerada com CLP=0 mas este valor pode ser alterado em trânsito.

As células identificadas como transportando unidades de dado de aplicação são encaminhadas à respectiva entidade da camada de adaptação (AAL1, AAL3/4 ou AAL5) para remontagem da SDU cujo fragmento a célula transporta. Células de sinalização são processadas pelas entidades que compõem o plano de controle. Estas células carregam fragmentos de mensagens segundo o protocolo de sinalização Q.2931 e B-ISUP. Células de gerência (OAM) são processadas pelas entidades do plano de gerência (gerência de rede, de falhas e de desempenho são desempenhadas neste plano). Células de gerência de recursos (RM) são utilizadas para troca de informação sobre recursos disponíveis na rede em atividades de controle de tráfego. Finalmente, células desassociadas, inseridas para manter a taxa de geração de células compatível com a camada física, são descartadas.

Gerência de Tráfego

Gerência de tráfego é um elemento imprescindível para o provivento de qualidade de serviço em redes de computadores. Segundo o ATM Fórum, gerência de tráfego para redes ATM visa cumprir dois objetivos:

1. proteger a rede e os nós terminais de congestionamento a fim de cumprir os requisitos de desempenho estipulado para a rede;

2. promover o uso eficiente de recursos de rede.

Gerência de tráfego em ATM é composta das seguintes funções:

- Controle de admissão para novas conexões (CAC: Connection and Admission Control): visa determinar se uma nova conexão requisitada à rede deve ser atendida ou rejeitada por falta de recursos;

- Controle em malha fechada (feedback control): visa regular o tráfego nas conexões de acordo com o estado dos elementos de rede;

- Controle de parâmetros de uso (UPC: Usage Parameter Control): visa policiar o tráfego submetido à rede pelos nós terminais a fim de determinar e reagir a possíveis violação dos parâmetros de tráfego negociados com a rede;
- Controle de descarte de células: visa determinar quais células devem ser descartadas quando uma situação de congestionamento ou violação de parâmetros contratuais é detectada;
- Moldagem de tráfego (traffic shaping): visa moldar o perfil de tráfego de acordo com as necessidades da rede e parâmetros contratuais;
- Gerência de recursos de rede (NRM: Network Resource Management): determina como recursos são alocados às diferentes categorias de serviço;
- Descarte de SDUs: visa promover o descarte de todas as células que compõem uma SDU com o objetivo de evitar o tráfego de células inúteis pela rede (isto é, células que com certeza serão descartadas pela camada de adaptação);
- Controle de fluxo para o serviço ABR (Available Bit Rate): visa gerenciar o serviço ABR onde a banda disponibilizada à conexão varia conforme a disponibilidade de recursos de rede.

Categorias de Serviço

A recomendação Traffic Management Specification Version 4.0 do ATM Fórum define cinco categorias de serviço:

- Taxa de bit constante (CBR: Constant Bit Rate);
- Taxa de bit variável para tempo real (rt-VBR: Real-time Variable Bit Rate);
- Taxa de bit variável (nrt-VBR: Non-real-time Variable Bit Rate);
- Taxa de bit não especificada (UBR: Unspecified Bit Rate);
- Taxa de bit disponível (ABR: Available Bit Rate).

O serviço com taxa de bit constante (CBR) é definido para aplicações que requeiram uma banda (taxa de bit) constante garantida e baixo atraso na comunicação. Este serviço é conhecido como "emulação de circuito" pois emula um circuito comutado (tal qual uma conexão telefônica, por exemplo). CBR é utilizado principalmente na emulação de circuitos síncronos e na transferência em tempo real de áudio e vídeo não compactado.

O serviço com taxa de bit variável para tempo real (rt-VBR) foi definido para aplicações com restrições de tempo real que requeiram banda variável garantida e baixo atraso na comunicação. rt-VBR é utilizado principalmente na transferência em tempo real de áudio e vídeo compactado.

O serviço com taxa de bit variável (nrt-VBR) se destina a aplicações sem restrições de tempo real mas que requeiram banda variável garantida e comunicação confiável (baixa perda de células). Este serviço é normalmente utilizado na conexão à provedores de comunicação onde uma deterninada banda contratada deve ser honrada pelo provedor.

O serviço taxa de bit não especificado (UBR) se destina a aplicações sem necessidade de garantia de qualidade de serviço. O serviço UBR é um serviço do tipo "melhor esforço" e se destina a aplicações clássicas de rede tais como transferência de arquivos e correio eletrônico. Por se comportar como uma LAN onde nenhum parâmetro de qualidade de serviço é oferecido, UBR é utilizado em emulaçào de LANs sobre ATM (LANE: LAN Emulation).

O serviço com taxa de bit disponível (ABR) oferece às aplicações uma banda que varia em função da carga da rede, sendo um valor mínimo (eventualmente zero) e máximo estipulados pela aplicação e negociados com a rede. Um mecanismo de realimentação existe para o informe da banda disponível à aplicação. ABR se destina aplicações que possam tirar proveito da banda de rede assim que esta estiver disponível. Um exemplo de tal aplicação é a transferência de grandes massas de dados (imagens de satélites, por exemplo) do local onde são geradas, para um local remoto de armazenamento.

Parâmetros de Qualidade de Serviço

A especificação de gerência de tráfego do ATM Fórum define 6 parâmetros de qualidade de servico:

1. Atraso Máximo de Célula (maxCTD: maximum Cell Transfer Delay);
2. Variação pico-a-pico do atraso máximo de célula (peak-to-peak CDV: Cell Delay Variation);
3. Razão de Perda de Célula (CLR: Cell Loss Ratio);
4. Razão de Erro de Célula (CER: Cell Error Ratio);
5. Razão de Bloco de Célula Severamente Corrompidos (SECBR: Severely Errored Cell Block Ratio);
6. Taxa de Célula Incorretamente Inseridas (CMR: Cell Misinsertion Rate).

Destes seis parâmetros os três primeiros (maxCTD, peak-to-peak CDV e CLR) são negociados com a rede. Os demais parâmetros não são negociados, sendo mantidos apenas para fins de monitoramento e gerência de rede.

É importante ressaltar que os parâmetros de QoS são determinados para cada sentido da conexão e se constituem de uma média ao longo do tempo. O Atraso Máximo de Célula (maxCTD) é definido como o tempo máximo para a transmissão de uma célula entre as interfaces do emissor e receptor. Este tempo é computado desde a transmissão do primeiro bit da célula até a recepção de seu último bit.

A variação pico-a-pico do atraso máximo de uma célula (peak-to-peak CDV) é uma métrica do jitter, ou seja, o quanto o serviço se aproxima (ou desvia) de um serviço isócrono onde a variação do atraso de propagação é nula. A figura 4.7 ilustra a relação entre maxCTD e peak-to-peak CDV. A curva representa a densidade de propabilidade de uma célula apresentar atraso de propagação T. A área sombreada sob a curva é numericamente igual a T. Note que existe um atraso fixo composto pelos tempos de transmissão e comutação. A variação do atraso é função do estado dos comutadores (quantidade de células nos buffers, número de conexões, etc.). Uma célula que chega após maxCTD é considerada de pouca utilidade para a aplicação e, em geral, descartada pela própria rede.

A razão de perda de célula (CLR) é definida como a razão entre o número de células perdidas e o número total de células transmitidas. Por célula perdida entende-se uma célula gerada pelo emissor e nunca recebida pelo receptor.

$$CLR = \frac{Células\ perdidas}{Total\ de\ células\ transmitidas}$$

A razão de erro de célula (CER) é definida como a razão de células recebidas com erro e a soma das células recebidas (corretas e com erro). Células recebidas com erro são aquelas descartadas por incompatibilidade entre o valor de HEC presente no cabeçalho e o computado na recepção.

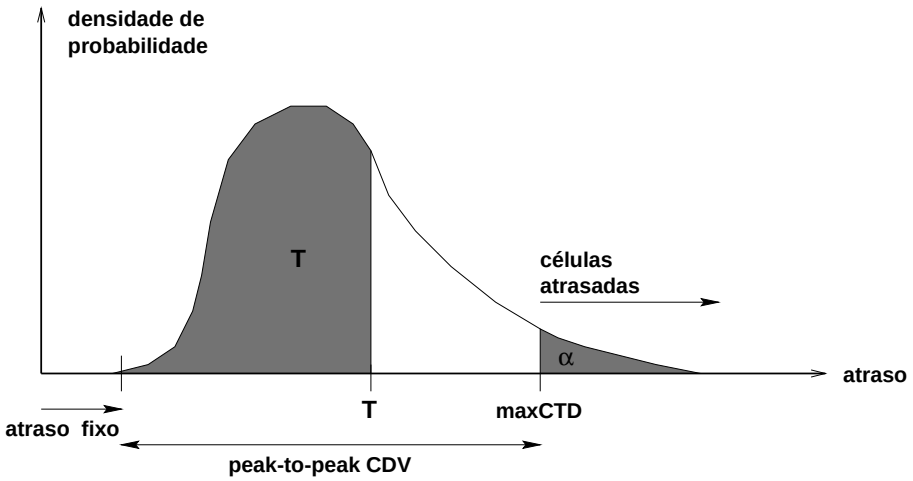

Figura 4.7: Relação entre maxCTD e peak-to-peak CDV

$$CER = \frac{Células\ recebidas\ com\ erro}{Total\ de\ células\ recebidas}$$

O parâmetro Razão de Bloco de Célula Severamente Corrompidos (SECBR) é definido para blocos de N células transmitidas consecuticamente por uma conexão. Via de regra, N é definido como o número de células de dados transmitidas entre duas células OAM consecutivas. Um bloco é considerado severamente corrompido quando M ($M < N$) células do bloco foram perdidas, incorretamente inseridas ou ainda recebidas com erro.

$$SECBR = \frac{Número\ de\ blocos\ severamente\ corrompidos}{Número\ total\ de\ blocos\ transmitidos}$$

O parâmetro Taxa de Célula Incorretamente Inseridas (CMR) mede, por unidade de tempo, a quantidade de células recebidas por uma conexão mas não transmitidas pela mesma. Usualmente esta situação ocorre quando uma alteração dos campos VPI/VCI gera o mesmo valor de HEC (além disto, os valores de VPI/VCI alterados devem coindidir com valores de uma conexão existente).

$$CMR = \frac{Células\ incorretamente\ inseridas}{Intervalo\ de\ tempo}$$

É importante notar que as células severamente corrompidas num bloco não devem entrar no cômputo de CMR, CER e CLR.

Contrato de Tráfego

Um contrato de tráfego descreve os parâmetros de qualidade de serviço negociados com a rede para um dado perfil de tráfego. Os parâmetros de qualidade de serviço são garantidos (em média e na ausência de falhas) caso a fonte emissora respeite o perfil de tráfego negociado. O perfil de tráfego é descrito pelas seguintes grandezas:

- Taxa Sustentável de Célula (SCR: Sustainable Cell Rate) - a média ao longo do tempo da quantidade de células por unidade de tempo que a fonte pode emitir;

- Taxa de Pico de Células (PCR: Peak Cell Rate) - a quantidade máxima de células por unidade de tempo que a fonte pode emitir durante um dado período de tempo ($PCR > SCR$);
- Taxa Mínima de Células (MCR: Minimum Cell Rate) - a quantidade mínima de células por unidade de tempo que a aplicação necessita para o seu funcionamento (MCR pode ter valor nulo);
- Tamanho Máximo de Rajada (MBS: Maximum Burst Size) - a quantidade máxima de células que uma fonte pode emitir à taxa PCR durante um surto de tráfego (rajada).

A figura 4.8 ilustra estes parâmetros.

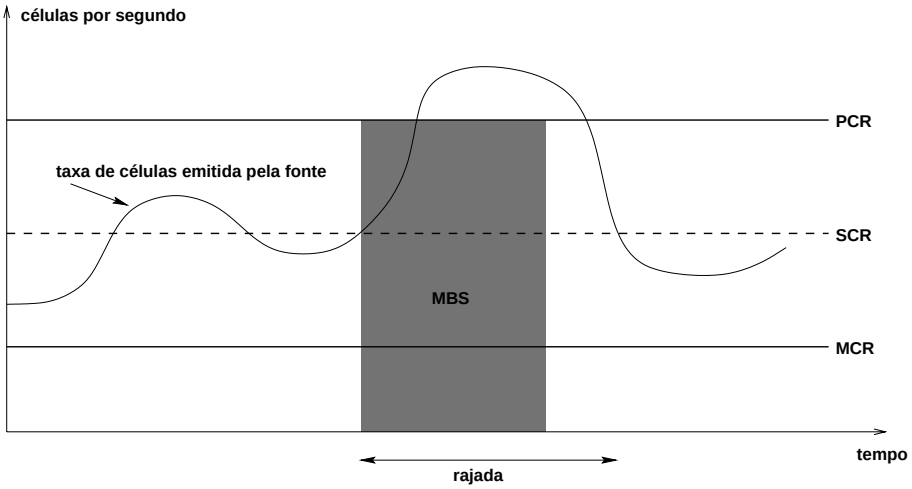

Figura 4.8: Parâmetros SCR, PCR, MCR e MBS

Os componentes SCR, PCR, MCR e MBS juntos formam o Descritor de Tráfego da Fonte. Este descritor é utilizado na abertura de conexão para que a rede tenha conhecimento das características intrínsecas da fonte geradora de tráfego. Um outro descritor, agora no âmbito da conexão, denominado Descritor de Tráfego da Conexão, é composto dos seguintes componentes:

- um Descritor de Tráfego da Fonte;
- uma estimativa do parâmetro peak-to-peak CDV[1] (CDVT: Cell Delay Variation Tolerance);
- uma definição de conformidade de tráfego.

O Descritor de Tráfego da Fonte é empregado na fase de admissão da conexão (CAC) onde a rede determina se há recursos suficientes para atender as requisições de tráfego da fonte. CDVT é um parâmetro utilizado no ajuste do algoritmo que implementa o teste de conformidade, não sendo atualmente neegociado através da UNI. A definição de conformidade se destina a estabelecer uma política para tratamento das células que violem o contrato de tráfego. Esta definição determina a política de controle de parâmetros de uso (UPC).

Finalmente, uma Especificação de Contrato de Tráfego é o elemento utilizado para negociar as características da conexão através da interface UNI. Esta especificação consiste de um Descritor de Tráfego da Conexão e os parâmetros de qualidade de serviço desejados. Cada sentido da

[1]Este parâmetro é uma métrica de quanto a conexão pode se afastar de um comportamento ideal isócrono.

conexão define uma Especificação de Contrato de Tráfego. A tabela 4.3 ilustra os parâmetros de Especificação de Contrato de Tráfego para as categorias de serviço da camada ATM.

Categoria de Serviço		CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
Descritor de Tráfego da Fonte	PCR	X	X	X	X(1)	X(2)
	SCR		X	X		
	MBS		X	X		
	MCR					X
Tolerância da Variação do Atraso (CTDV) (3)		X	X	X		
Parâmetros de Qualidade de Serviço	maxCTD	X	X			
	pead-to-peak CDV	X	X			
	CLR	X	X	X		
Mecanismo de feedback						X

1. A rede pode ou não utilizar estes estes parâmetros para fins de controle e admissão e policiamento de tráfego
2. Representa a banda máxima disponível à conexão
3. CDVT não é sinalizado, sendo ajustado via gerência de rede ou intrínseco do equipamento.

Tabela 4.3: Parâmetros de Especificação de Contrato de Tráfego para as categorias de serviço da camada ATM. "X" indica que o parâmetro é especificado quando a conexão é requisitada

Determinação da Conformidade do Tráfego

Ao receber uma célula através de uma determinada conexão, o nó comutador verifica se esta célula está em conformidade com a Especificação de Contrato de Tráfego negociada com a rede. Este processo de verificação faz parte do controle de parâmetros de uso (UPC), sendo uma atividade importante na Gerência de Tráfego. A verificação de conformidade bem como as ações tomadas em função desta verificação é deixada a cargo do equipamento ATM. Entretanto, o documento Traffic Management Specification V. 4.0 sugere um procedimento denominado Algoritmo Genérico de Taxa de Célula (GCRA: Generic Cell Rate Algorithm).

GCRA é um algoritmo do tipo Leaky Bucket utilizado, por exemplo, em redes Frame Relay para policiamento de tráfego. O algoritmo possui dois parâmetros de ajuste: I (incremento) e L (limite). I e L são dados em termos dos parâmetros das tolerâncias à variação do atraso de células (CDVT) e parâmetros de perfil de tráfego (PCR, SCR, etc.). A figura 4.9 ilustra o algoritmo GCRA.

A idéia básica do algoritmo GCRA é a seguinte. Um dado contrato de tráfego especifica parâmetros tipo PCR, SCR, MBS, etc. O algoritmo verifica se cada célula recebida está em conformidade com o perfil de tráfego estipulado no contrato, a menos de certa tolerância. Esta tolerância é expressa no parâmetro L do algoritmo. O parâmetro I mede a taxa de chegada de célula.

O algoritmo GCRA é utilizado em duas situações:

1. garantir que nas condições de pico de tráfego a variação máxima do atraso seja mantida dentro de certos limites;

2. garantir que nas condições de tráfego sustentado as rajadas sejam limitadas à valores máximos pré-estabelecidos.

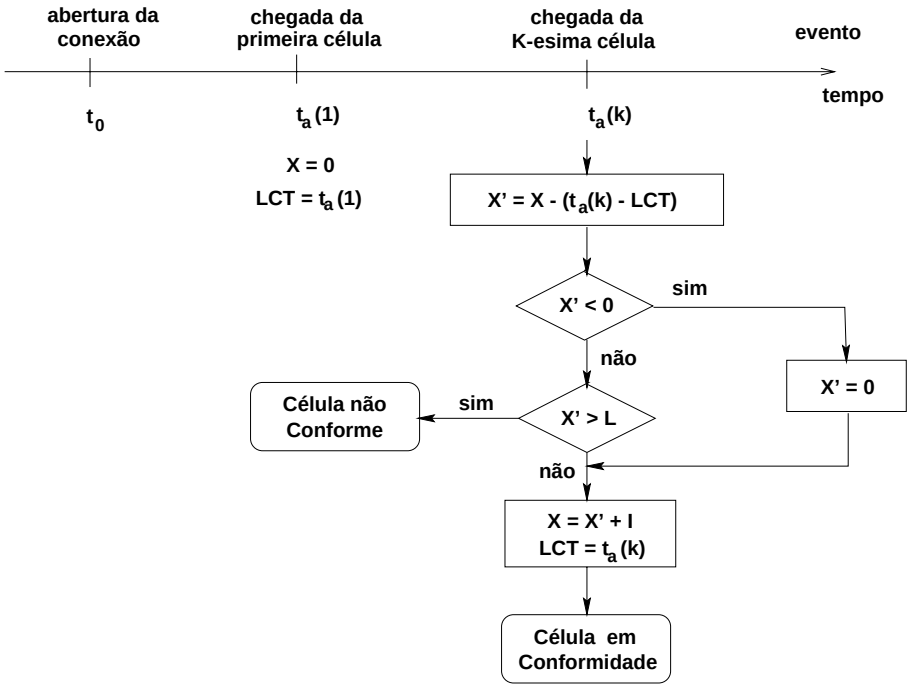

Figura 4.9: Algoritmo GCRA

Para as situações acima utiliza-se duas instâncias do algoritmo GCRA, respectivamente, uma relacionando PCR e CDVT e outra relacionando SCR, MBS e PCS. A primeira instância utiliza como parâmetro I o espaçamento mínimo de chegada de células, T, onde $T = PCR^{-1}$. O parâmetro L é dado por CDVT. Temos então GCRA(T, CDVT). Nesta situação o algoritmo opera da seguinte forma. Seja uma situação ideal onde uma célula chega a cada T segundos. Na chegada da primeira célula o algoritmo faz $X = 0$ e $LCT = t_a(1)$, dando a célula como em conformidade. Na chegada da segunda célula $X' = X - (t_a(2) - t_a(1)) = 0 - T = -T$. O algoritmo verifica se $X' > 0$ e, não sendo o caso, faz $X' = 0$, concluindo pela conformidade da segunda célula e atribuindo $X = T$ e $LCT = t_a(2)$. A partir daí o termo $X' = X - (t_a(k) - LCT)$ irá valer sempre zero, seguindo o fluxo do algoritmo pelo caminho principal e atribuindo conformidade às células subsequentes.

Obviamente a situação descrita acima nunca ocorre na prática pois é impossível a rede manter um espaçamento fixo entre as células devido a fatores como multiplexação de células, inserção de células OAM, etc. No caso de um espaçamento não uniforme o termo $(t_a(k) - LCT)$ irá variar entre um valor mínimo (o menor espaçamento entre células) e um valor arbitrariamente alto.

Quanto maior o espaçamento entre duas células consecutivas, maior o valor deste termo. A variável X iniciada em 0 é acrescida de T todas as vezes que uma célula é dada como conforme e decrementada de $(t_a(k) - LCT)$ em toda a interação do algoritmo. Seja a situação da figura 4.10.

O fluxo de células vinha se mantendo constante com espaçamento entre células igual a T. Durante 3 períodos T nenhuma célula é transmitida (provavelmente foram "bufferizadas" num nó anterior), sendo estas 3 células faltantes transmitidas em rajada no próximo período. O gráfico da figura ilustra o valor de X'. Note que X' assume exatamente o valor de CDVT (3) permanecendo neste valor até que ocorra um novo espaçamento maior que T.

Seja agora o caso da figura 4.11 onde o espaçamento excede CDVT. Neste caso o algoritmo detecta uma célula como não conforme, indicando uma violação na variação do atraso.

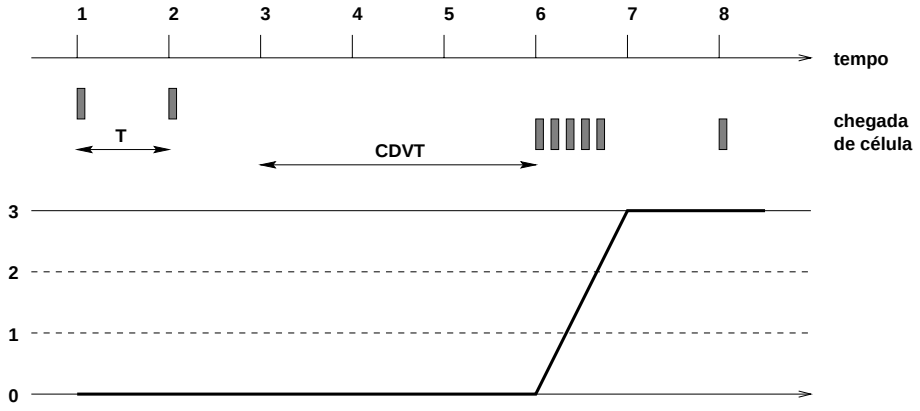

Figura 4.10: Valor de X' (algoritmo GCRA) em função do espaçamento de células

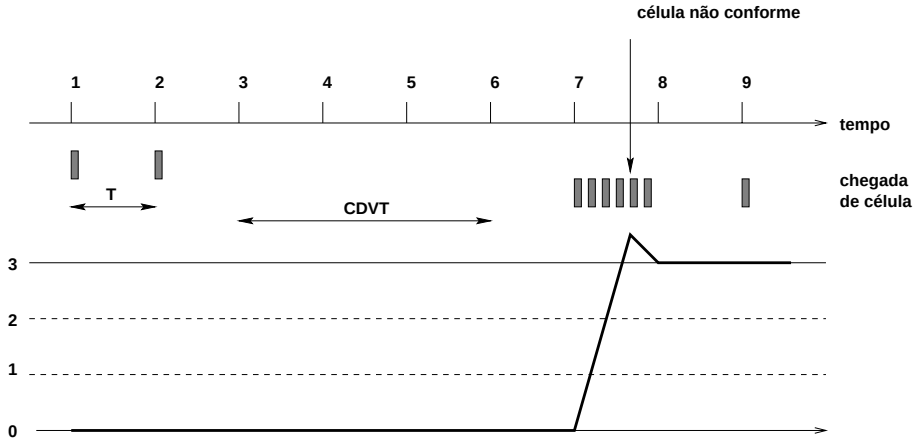

Figura 4.11: Valor de X' (algoritmo GCRA) em função do espaçamento de células

A situação descrita acima é utilizada para policiar o valor de pico (PCR). Em situações de fluxo normal, o mesmo algoritmo é utilizado para policiar a ocorrência de rajadas. Neste caso, o algoritmo GCRA possui parâmetros T_s e τ_s: $GCRA(T_s, \tau_s)$, onde:

$$T = \frac{1}{PCR}$$

$$T_s = \frac{1}{SCR}$$

$$\tau_s = \frac{(MBS - 1)}{(T_s - T)}$$

Controle de Parâmetros de Uso (UPC)

Controle de parâmetros de uso é um procedimento operado por conexão nas interfaces UNI e NNI com o objetivo de evitar que um tráfego não conforme[2] degrade o desempenho das demais conexões.

[2]Isto é, tráfego que viola um ou mais parâmetros do Contrato de Tráfego.

O algoritmo GCRA pode ser utilizado na determinação da conformidade do tráfego que flui pelas conexões (isto é, existe pelo menos uma instância do GCRA por conexão).

Quando uma célula é tida como não conforme, o procedimento UPC pode:

- "marcar" a célula caso seu CLP seja 0 (tornando CLP=1);
- descartar a célula.

A marcação de células é opcional numa rede ATM, e, em existindo pode ser pré-provisionada pela rede ou expressa no Descritor de Tráfego da Conexão (definição de conformidade) durante a abertura da conexão.

A figura 4.12 ilustra a definição de conformidade quando o policiamento de tráfego leva em conta o parâmetro CLP. A parte superior da figura ilustra a situação onde a rede não reserva recursos para o tráfego de células marcadas com CLP=1. Neste caso células não conformes com o tráfego CLP=0 são descartadas e as conformes passam por um segundo teste juntamente com as células que chegaram com CLP=1 (tráfego CLP=0+1)[3]. Em outras palavras, o nó não gera células com CLP=1, repassando, eventualmente, as recebidas. Na parte inferior da figura 4.12 temos o caso onde a rede reserva um percentual de recursos para o tráfego CLP=1. Neste caso, células não conformes com o tráfego CLP=0 são marcadas com CLP=1 e submetidas ao teste de conformidade para o tráfego CLP=0+1.

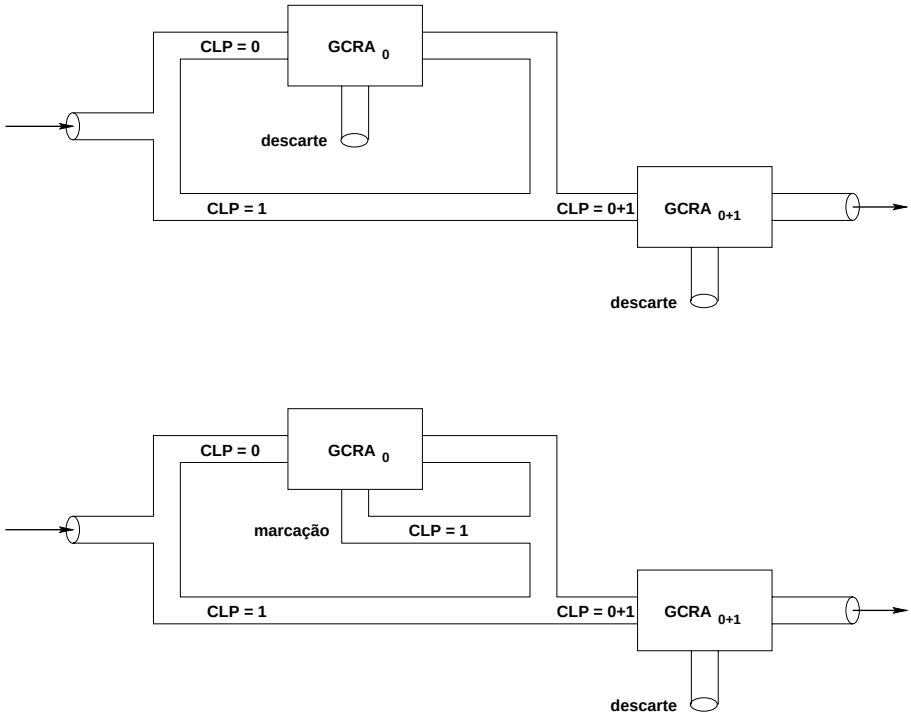

Figura 4.12: Estratégias de controle de parâmetros de uso

[3]Tráfego que não distingue o bit CLP do cabeçalho das células.

Controle de Admissão (CAC)

Controle de Admissão (CAC: Connection and Admission Control) é o procedimento que a rede utiliza para determinar se uma conexão (PVC ou SVC) pode ou não ser estabelecida. Esta decisão depende da disponibilidade de recursos para a nova conexão que, em última instância, depende da quantidade de conexões já estabelecidas e dos parâmetros de qualidade de serviço requeridos pela nova conexão. Toda a vez que um nó comutador receber, via sinalização ou gerência de rede, uma requisição de abertura de conexão, o nó efetua o procedimento CAC. Caso o procedimento determine a viabilidade da nova conexão, o nó dá prosseguimento ao processo de abertura da conexão. Caso contrário, o nó inicia o processo de remoção da conexão parcialmente aberta nos nós antecessores.

O procedimento CAC utiliza as informações constantes no Contrato de Tráfego (PCR, SCR, etc.) para determinar:

- se a conexão pode ser estabelecida ou não;
- os parâmetros para controle de parâmetros do usuário (parâmetros do algoritmo GCRA, marcação de células, etc.);
- os recursos necessários à conexão (buffers, capacidade de ports, etc.).

Um procedimento CAC típico utiliza técnicas derivadas da teoria de filas para estimar a banda requerida por uma conexão. Este procedimento leva em conta:

- Descritor de Tráfego da Fonte (PCR, SCR, MBS, MCR);
- a Taxa de Perda de Célula (CLR);
- a carga dos ports de entrada e saída da conexão;
- o tamanho dos buffers disponíveis nestes ports.

Via de regra a estimativa de banda é conservadora o que, apesar de não utilizar plenamente os recursos do nó, irá honrar a qualidade de serviço demandada pela conexão.

O procedimento CAC pode ainda impor taxa de utilização de ports para cada categoria de serviço. Por exemplo para um port de 155 Mbits/s:

- 20% para CBR (31 Mbits/s);
- 30% para rt-VBR (46,5 Mbits/s);
- 40% para nrt-VBR (62 Mbits/s);
- 5% para UBR (7, 75 Mbits/s);
- 5% para ABR (7,75 Mbits/s).

Finalmente, o procedimento CAC deve estar integrado ao roteamento pois a falha do procedimento para determinada rota (port de saída) não necessariamente implica falha para outra rota.

Moldagem do Tráfego

Moldagem de tráfego é uma atividade complementar ao policiamento de tráfego. Moldagem de tráfego é utilizada para "aplainar" o tráfego num perfil mais homogêneo além de evitar a compactação de células (ver figura 4.11) o que provoca um aumento na variação do atraso. Obviamente, procedimentos de moldagem de tráfego não devem permitir a violação de parâmetros de qualidade de serviço já assegurado às conexões.

Um procedimento muito utilizado para moldar o tráfego baseia-se no algoritmo *Token Bucket*[4]. A idéia do algoritmo é dada na figura 4.13. Suponha um port de saída cuja capacidade alocada à deterninada conexão seja equivalente à ρ células/s. Seja um gerador de fichas (tokens) que opera também à taxa ρ. Cada ficha gerada é colocada num "balde" de capacidade β. Células transmitidas por esta conexão são armazenadas num buffer com capacidade para armazenar K células. A interface de saída do port somente transmite uma célula da conexão após retirar uma ficha do "balde". O tráfego desta conexão é "aplainado" por este mecanismo pois durante uma rajada de células no port de entrada as fichas no "balde" irão rapidamente se esgotar, forçando a partir daí uma transmissão à taxa ρ e a consequente "bufferização" de parte da rajada.

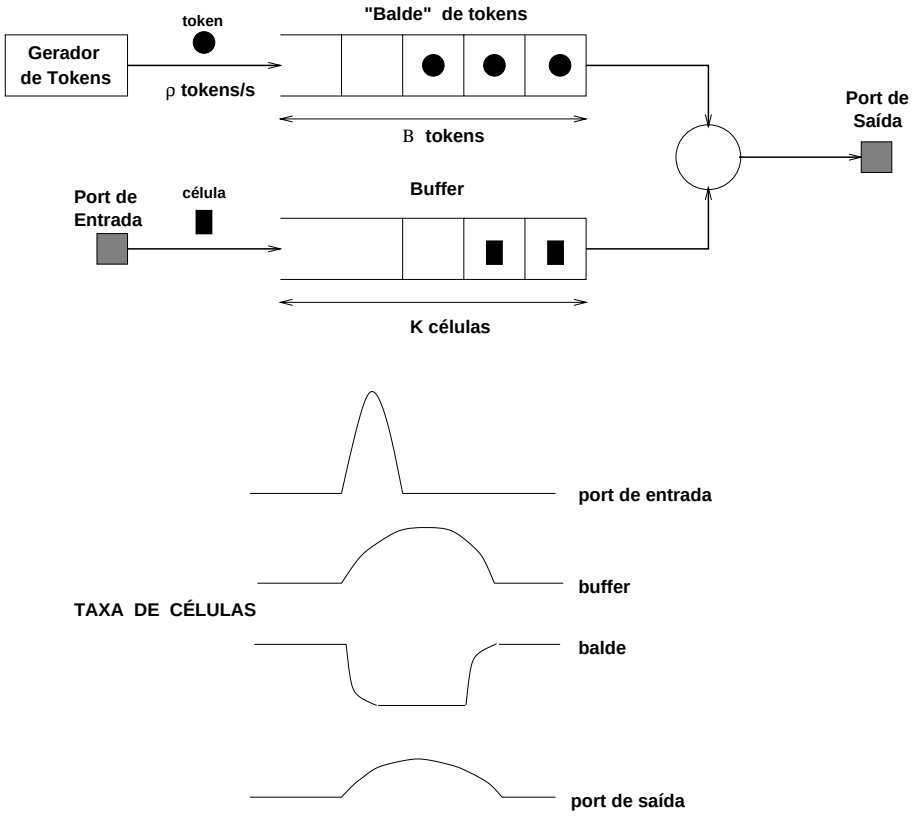

Figura 4.13: Estratégia *Token Bucket* para moldagem do tráfego

[4] "Balde de fichas".

Descarte de SDUs

O descate de células ocorre em situações de falhas ou congestionamento. O descarte de uma célula é freqüentemente bem mais severo que a perda de 48 bytes de informação. Na grande maioria das vezes, a informação transportada por uma célula é parte de um segmento maior (um datagrama de rede, por exemplo). A falta de uma célula impede ao receptor a correta remontagem do segmento do qual a célula fazia parte. Pior ainda, as células do segmento que foram transmitidas ocuparam recursos de comutação e transmisão.

O descarte de SDUs, quando implementado/disponibilizado tem por objetivo o descarte de todo o segmento que teve uma de suas células descartadas. Usualmente, este segmento é uma SDU da camada de adaptação (AAL). A camada ATM utiliza o campo PTI da célula para determinar as fronteiras de uma SDU da camada de adaptação. O indicador AAI (ATM- user-to-ATM-user Indication) informa a última célula de um AAL SDU. Dado que células são geralmente armazenadas em buffers em seqüência, o descarte de AAL SDUs não se constitui de tarefa complexa.

4.2.5 O Serviço ABR (Available Bit Rate)

O serviço ABR tem por objetivo permitir a uma aplicação utilizar certa banda de rede quando esta se tornar disponível. Este serviço visa otimizar a utilização de recursos, oferecendo a banda disponível às aplicações capazes de adaptar seu perfil de tráfego às disponibilidades da rede. O Descritor de Tráfego da Fonte para o serviço é composto dos parâmetros PCR e MCR. PCR determina a taxa máxima que a conexão ABR pode utilizar, enquanto MCR determina a taxa mínima que a aplicação necessita para seu funcionamento (MCR pode ser nulo). O serviço garante baixa taxa de perda de células, exceto se a aplicação violar a banda a ela alocada no momento. O serviço ABR não contempla a marcação de células.

Em termos de gerência de tráfego, além do policiamento de tráfego descrito anteriormente, o serviço ABR deve prover um mecanismo de *feedback* para informar à fonte sobre a banda disponível no momento. Este mecanismo é baseado em células de gerência de recursos (RM) e introduz um atraso fim-a-fim adicional ao fluxo de células numa conexão ABR.

O mecanismo de feedback provê um controle em malha fechada entre a fonte e o destino. A cada N células[5] de dados a fonte gera uma célula RM na direção do fluxo (forward RM cell) através da própria conexão ABR. Os nós intermediários alteram o conteúdo da célula caso se encontrem numa situação de sobrecarga. A célula RM é então examinada pelo nó de destino que gera uma nova célula RM direcionada à fonte (backward RM cell). Ao receber esta célula a fonte ajusta sua taxa de transmissão de acordo com as informações nela contidas. A figura 4.14 ilustra este procedimento.

Inicialmente, a fonte considera três parâmetros, além de MCR e PCR:

1. Taxa Permitida de Célula (ACR: Allowed Cell Rate): o valor corrente de taxa de célula permitido à fonte;

2. Taxa Inicial de Célula (ICR: Initial Cell Rate): o valor inicial para ACR;

3. Fator de Incremento de Taxa (RIF: Rate Increase Factor): incremento de taxa de célula (fração de PCR) que a fonte pode utilizar caso não haja indicativo de congestionamento.

O protocolo de *feedback* considera ainda as seguintes variáveis transportadas em células RM:

[5] Usualmente N = 31.

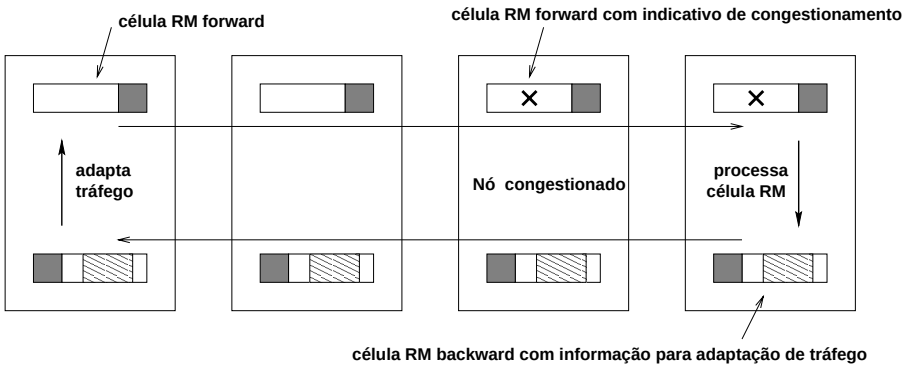

Figura 4.14: Mecanismo de feedback para o serviço ABR

- Indicador de Congestionamento (CI: Congestion Indicator): indica a presença de congestionamento;
- Não Incremento (NI: No Increase) : indica que a fonte está proibida de aumentar sua taxa de transferência de células;
- Taxa Explícita de Célula (ER: Explicit cell Rate): indica a taxa de transferência de célula que a fonte deve utilizar.

A figura 4.15 ilustra a reação de uma fonte ABR ao recebimento de células RM.

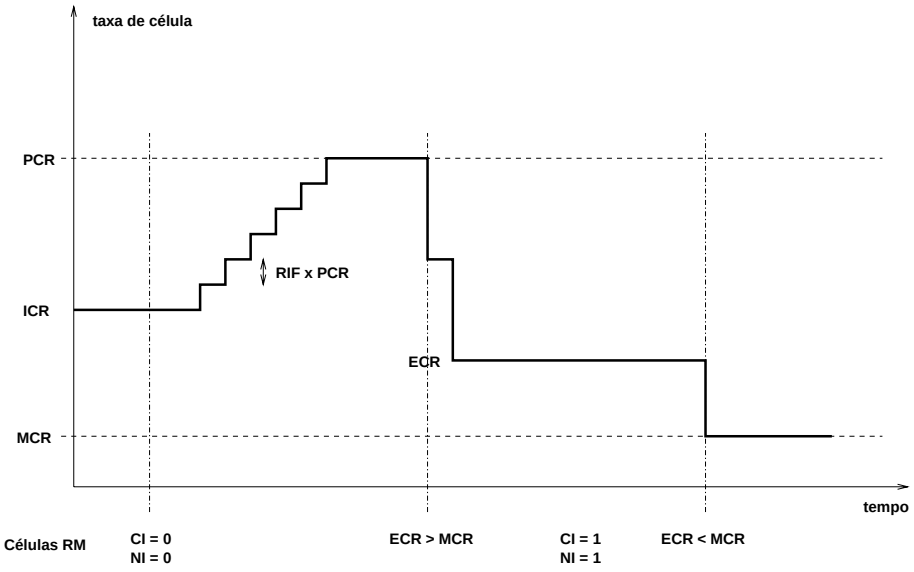

Figura 4.15: Reação de uma fonte conforme com o serviço ABR ao recebimento de células RM

O nó de destino "rebate" as células RM recebidas da fonte, alterando o indicador de direção de "forward" para "backward". Caso a célula traga um indicativo de congestionamento, o valor de CI na célula "backward" é ativado. Caso o nó de destino se encontre numa condição de congestionamento, o mesmo poderá:

- ativar o indicador NI impossibilitando à fonte um incremento de tráfego;
- reduzir explicitamente o tráfego para um valor desejado dado por ER.

Um nó comutador repassa as células RM sem mudanças caso o mesmo não se encontre numa situação de sobrecarga. Caso contrário, o nó intermediário poderá:

- ativar o campo indicador de congestionamento (EFCI: Explicit Forward Congestion Indication);
- ativar os campos CI e/ou NI;
- alterar o valor do campo ER para um valor aceitável para o nó comutador.

A qualquer momento um nó comutador poderá gerar células RM "backward" para a fonte com os valores CI, NI, ou ER adequados à sua condição de carga.

Finalmente, uma célula RM é dada na figura 4.16. O cabeçalho possui campo PTI = 110 (ver tabela 4.1). VPI e VCI são idênticos aos da conexão. O campo Identificador de Protocolo possui valor unitário para controle de tráfego ABR. O campo Tipo de Mensagem contém os seguintes sub-campos de 1 bit:

- Direção: 0 para célula "forward" e 1 para célula "backward";
- BECN (Backward Explicit Congestion Notofication): indica se a célula RM foi gerada pela fonte (BECN = 0) ou por um nó intermediário ou terminal (BECN = 1);
- Notificação de Congestionamento (CI);
- Não Incremento (NI).

O campo Taxa Corrente de Célula possui o valor corrente de ABR quando a célula é gerada pela fonte. O campo Taxa Mínima de Célula contém o valor de MCR atribuído à fonte. O campo CRC- 10 de 10 bits é um código de redundância cíclica para detecção de erro no campo de dado da célula.

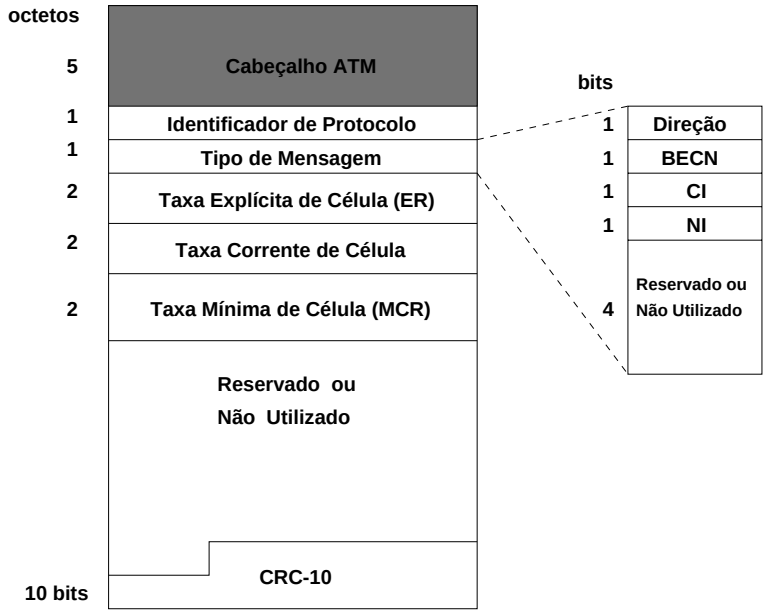

Figura 4.16: Formato da célula RM

4.3 A Camada de Adaptação

A camada de adaptação ATM (AAL: ATM Adaptation Layer) é o componente que dá às redes ATM sua característica multi-serviço. A camada de adaptação "adapta" as necessidades das aplicações aos serviços oferecidos pela camada ATM. A camada AAL utiliza os serviços da camada ATM para propiciar diferentes classes de serviços, cada qual destinada a um determinado conjunto de aplicações, tais como:

- transmissão de áudio e vídeo com garantia de sincronismo;
- aplicações clássicas que envolvem transferência de dados (imagens, arquivos, documentos, etc.);
- estabelecimento de circuitos síncronos e assíncronos (ISDN B, T1/E1, etc.);
- oferecimento de serviços Frame Relay e SMDS sobre ATM;
- emulação de LANs sobre ATM.

A arquitetura B-ISDN define quatro tipos de camada de adaptação denominados tipo 1 (AAL1), 2 (AAL2), 3/4 (AAL3/4) e 5 (AAL5). Cada tipo tem como alvo determinada categoria de serviço com funcionalidades peculiares à categoria.

As próximas seções descrevem a arquitetura da camada de adaptação, as classes de serviço oferecidas por esta camada, e cada tipo de camada de adaptação.

4.3.1 Arquitetura da Camada de Adaptação

A camada de adaptação é organizada segundo a arquitetura da figura 4.17. A terminologia é a mesma do modelo OSI. A comunicação inter-camadas se dá através de um Ponto de Acesso de Serviço (SAP: Service Access Point). Ao requisitar um serviço, a camada usuária passa uma Unidade de Dado de Interface (IDU: Interface Data Unit) que é composta de dois componentes:

1. Informação de Controle de Interface (ICI: Interface Control Information), contendo informações que permite à camada requisitada processar o serviço;
2. Unidade de Dado de Serviço (SDU: Service Data Unit) que contém os parâmetros do serviço[6].

Para processar o serviço, a camada requisitada deve enviar a SDU submetida à sua camada adjacente em outro nó da rede. Para tal, a camada requisitada se utiliza de um protocolo que implementa o serviço. Mensagens de protocolo são formatadas numa Unidade de Dado de Protocolo (PDU: Protocol Data Unit). Esta PDU irá formar a SDU desta camada quando a mesma requisitar serviço da camada inferior.

A camada de adaptação é composta de duas subcamadas: segmentação e remontagem, e convergência. A subcamada de segmentação e remontagem (SAR: Segmentation And Reassembly) visa segmentar uma SDU da camada de adaptação (AAL-SDU) em células ATM para transmissão ou remontar uma AAL-SDU a partir de células ATM recebidas. As SDUs geradas pela subcamada SAR (SAR-SDU) não devem excerder 48 bytes posto que serão transmitidas como dado em células da camada ATM. Um protocolo de segmentação e remontagem é definido para cada camada de adaptação.

A subcamada de convergência (CS: Convergence Subleyar) provê uma interface para a camada de adaptação. Funções típicas da subcamada de convergência são:

[6] Via de regra, dados à serem transmitidos à camada usuária adjacente.

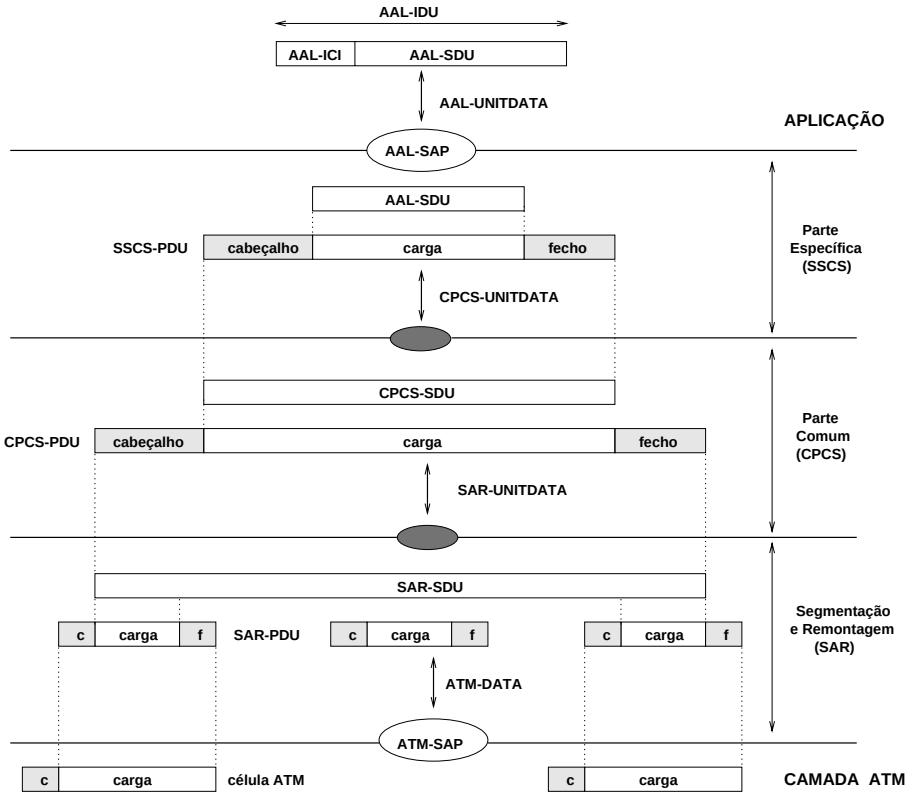

Figura 4.17: Arquitetura da Camada de Adaptação ATM

- transferência de informação com uma subcamada CS remota;
- interfaceamento com a subcamada SAR;
- manutenção/recuperação de sincronismo entre fonte e destino;
- detecção e correção de erros;
- armazenamento temporário de CS-SDUs;
- informe de erros e estatísticas.

A subcamada de convergência pode ser subdividida ainda em duas partes:

1. Parte Comum da Subcamada de Convergência (CPCS: Common Part Convergence Sublayer);
2. Subcamada de Convergência Específica do Serviço (SSCS: Service Specific Convergence Sublayer).

A parte comum da subcamada de convergência (CPCS) provê as funcionalidades comuns para determinado tipo de camada de adaptação, enquanto a parte específica (SSCS) estende a parte comum visando o atendimento de determinadas aplicações. Via de regra a parte comum é especificada enquanto a parte específica é deixada a critério das implementações.

A camada de adaptação define um ou mais SAPs (AAL-SAP) para troca de informação com a entidade usuária. Cada tipo de camada de adaptação define um conjunto de primitivas (e respectivos parâmetros) para este SAP.

SAPs não são definidos nas interfaces CS-SAR, CPCS-SAR e SSCP-CPCS. Nestas interfaces são definidas primitivas tipo P.invoke e P.signal. As notações P.request e P.indication não são utilizadas nestas interfaces para enfatizar a inexistência de SAPs. Para transferência de dados entre a camada de adaptação e a camada usuária é utilizada a primitiva AAL-UNITDATA. Primitivas de mesmo nome são utilizadas para trasferência de dados entre subcamadas.

4.3.2 Classes de Serviço

A camada de adaptação ATM provê quatro categorias de serviço denominadas Classe A, B, C e D. Estas categorias de serviço atendem a uma vasta gama de aplicações, indo desde a emulação de circuitos síncronos e assíncronos até o transporte tráfego gerados por redes locais. O objetivo desta classificação é diminuir o número de protocolos na camada de adaptação.

A distinção entre estas classes se dá pelos seguintes qualificativos:

1. sincronismo entre fonte e receptor: se a taxa gerada pela fonte deve ser mantida no receptor ou não;

2. taxa de bit: se a fonte deve gerar informação à uma taxa de bit constante ou não;

3. estabelecimento de conexão: se uma conexão deve ser estabelecida entre as entidades comunicantes ou não.

O primeiro qualificativo, sincronismo entre a fonte e o receptor, determina se o serviço terá um comportamento isócrono (síncrono) ou não. O segundo qualificativo, taxa de bit, visa diferenciar as fontes que geram taxa de bit constante daquelas que geram taxa de bit variável. O terceiro qualificativo, estabelecimento de conexão, visa garantir às aplicações certa qualidade de serviço.

A tabela 4.4 ilustra estas quatro classes de serviço em função dos qualificativos acima. Obviamente existe uma relação entre as classes de serviço da camada de adaptação e as categorias de serviço da camada ATM (CBR, rt-VBR, etc.). Uma aplicação (por exemplo, áudio-conferência) "enxerga" a camada de adaptação que por sua vez oferece quatro classes de serviço. Suponha que a aplicação opte pelo serviço classe A. A camada de adaptação irá oferecer o serviço classe A utilizando uma conexão da camada ATM cuja Especificação de Contrato de Tráfego indique a categoria CBR (taxa de bit constante). É importante notar que a camada de adaptação só existe "nas pontas" da rede (nós terminais onde as aplicações executam). Isto significa que os protocolos que implementam estas classes operam fim-a-fim, não estando presentes nos nós intermediários.

Classe	A	B	C	D
Sincronismo fonte/receptor	requerido	requerido	não requerido	não requerido
Taxa de Bit	constante	variável	variável	variável
Orientado a Conexão	sim	sim	sim	não

Tabela 4.4: Classes de serviço ATM

O serviço classe A se destina a aplicações que geram informação a uma taxa constante e demandam sincronismo entre a fonte e o receptor. Em outras palavras, o serviço classe A espera que a fonte submeta à rede dados numa taxa de bit constante, entregando-os ao receptor na mesma taxa gerada pela fonte. Exemplos de aplicações que requerem serviço classe A são: distribuição de áudio e vídeo não compactado e emulação de circuitoes (ISDN 64 Kbits/s, E1, etc.). O serviço requer o estabelecimento de conexão, sendo realizado sobre uma conexão CBR (Constant Bit Rate) da camada ATM.

O serviço classe B mantém também o sincronismo entre a fonte e o receptor, mas relaxa a condição de taxa de bit constante. Esta classe de serviço atende às aplicações com restrições de tempo-real e que geram uma taxa de bit variavel. Exemplo de aplicação que requer serviço classe B é distribuição de áudio e vídeo compactado. O serviço requer o estabelecimento de conexão, sendo realizado sobre uma conexão rt-VBR (real-time Variable Bit Rate) da camada ATM.

O serviço classe C além de permitir uma taxa de bit variável não garante o sincronismo entre o emissor e o receptor. Sendo também orientado à conexão, o serviço classe C é ideal para o provimento de Frame Relay sobre ATM. Este serviço é realizado sobre uma conexão VBR (Variable Bit Rate) da camada ATM.

Finalmente, o serviço classe D oferece um serviço de datagrama às aplicações. Este serviço foi concebido para propagar tráfego de LANs por uma rede ATM, por exemplo via SMDS sobre ATM ou IP Cássico sobre ATM. O serviço classe D é realizado sobre uma conexão UBR (Unspecified Bit Rate) ou ABR (Available Bit Rate) da camada ATM.

4.3.3 A Camada de Adaptação Tipo 1

A Camada de Adaptação tipo 1 (AAL1: ATM Adaptatiom Layer Type 1) é utilizada para o provimento de serviços classe A. Neste sentido a AAL1 deve receber dados da aplicação numa taxa constante e manter um relógio comum para fins de sincronismo entre fonte e destino. Os serviços providos pela AAL1 são:

- transferência de unidades de dado (SDU: Service Data Unit) a uma taxa de bit constante;
- transferência de informação de temporização entre a fonte e o destino para fins de sincronização;
- delimitação de blocos de informação;
- informe de erros à camada usuária.

AAL1 define um SAP para o recebimento/entrega de SDUs da/para entidade usuária. A primitiva AAL-UNITDATA é utilizada para esta finalidade:

- AAL-UNIDATA.request: sentido camada usuária-AAL;
- AAL-UNITDATA.indication: sentido AAL-camada usuária.

A primitiva AAL-UNITDATA.request tem como parâmetros uma AAL-SDU (dados do usuário) e, opcionalmente, uma estrutura de dado contendo informação se a SDU é a primeira de uma sequência de SDUs interrelacionadas.

A primitiva AAL-UNITDATA.indication possui os mesmos parâmetros da primitiva ALL-UNITDATA.request e, opcionalmente, um parâmetro de status informando se a SDU sendo entregue é válida ou não.

Entre as subcamadas CS e SAR não existe SAP, sendo as primitivas SAR-UNITDATA.invoke (sentido CS-SAR) e SAR-UNITDATA.signal (sentido SAR-CS) utilizadas para troca de informação entre as subcamadas SAR e CS. Estas primitivas possuem os seguintes parâmetros comuns:

1. dado de interface: 47 bytes (carga de uma SAR-PDU);
2. indicador da camada de convergência (CSI: Convergence Sublayer Indicator), detalhado a seguir;
3. contador de sequência: numeração para fins de detecção de perda de CS-PDUs.

A primitiva SAR-UNITDATA.signal define um quarto parâmetro que estipula se os parâmetros CSI e contador de sequência são válidos ou inválidos.

A figura 4.18 o processamento de um SAR-PDU na AAL1.

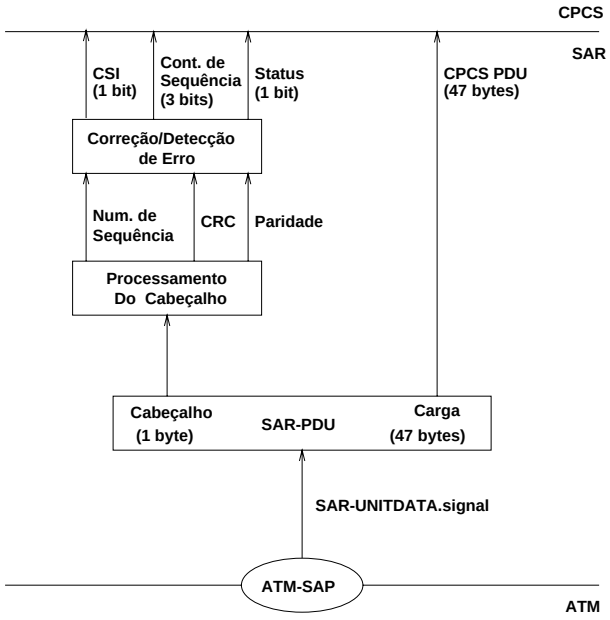

Figura 4.18: Processamento de um SAR-SDU da AAL1

Subcamada SAR

Uma SAR-PDU para a camada de adaptação tipo 1 possui o formato da figura 4.19. O campo CSI distingue entre dois formatos de SAR-PDU: formato P (CSI=1) e formato não-P (CSI=0), formatos estes detalhados a seguir.

O campo Contador de Sequência de 3 bits carrega o contador de sequência conforme provido pela subcamada de convergência (parâmetro de SAR-UNITDATA.invoke). O contador opera em módulo 8.

O campo CRC é empregado na detecção de erros dos campos Contador de Sequência e CSI. De apenas 3 bits, utiliza o polinômio gerador $x^3 + x + 1$.

Finalmente, o campo Paridade Par é utilizado como proteção adicional do cabeçalho. Seu valor é tal que os 8 bits de cabeçalho da SAR-PDU tenham paridade par.

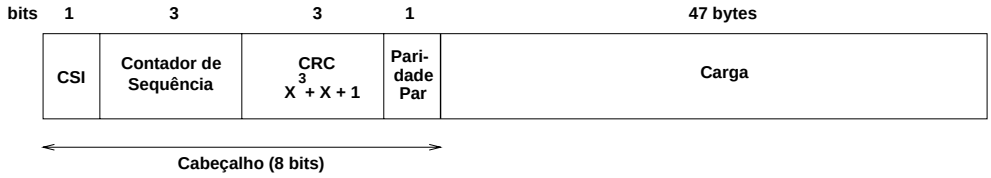

Figura 4.19: Formato de PDU para a AAL1

Subcamada CS

A subcamada de convergência (CS) na AAL1 provê os seguintes serviços:

- recepção de AAL-SDUs da camada usuária a uma taxa constante;
- tratamento da variação do atraso de célula (visa compensar no destino a variação do atraso de célula introduzida pela rede, restaurando assim a taxa constante da fonte);
- tratamento de perdas ou inserção incorreta de células;
- sincronização entre os relógios do emissor e receptor (conforme requerido para o serviço classe A).

A subcamada CS define dois modos de transferência: estruturado e não estruturado. No modo estruturado as SDUs submetidas à camada de adaptação são acomodados nos 47 bytes do campo de dado de uma SAR-PDU sem que haja vazios. Neste modo o tamanho da SDU é igual a um bit ou um byte, respectivamente, para fontes que geram bits a uma taxa constante (circuito ISDN de 64 Kbits/s, por exemplo) ou bytes a uma taxa constante (transporte de vídeo PCM, por exemplo).

O modo de transferência estruturado comporta SDUs superiores a um byte. O tamanho da SDU não pode exceder a capacidade de duas CS-PDUs menos 1 byte (isto é, 93 bytes). O modo estruturado opera com dois tipos de CS-PDU, denominados formato P e formato não-P (figura 4.20). A distinção entre estes dois formatos se dá pelo campo CSI da SAR-PDU (figura 4.19).

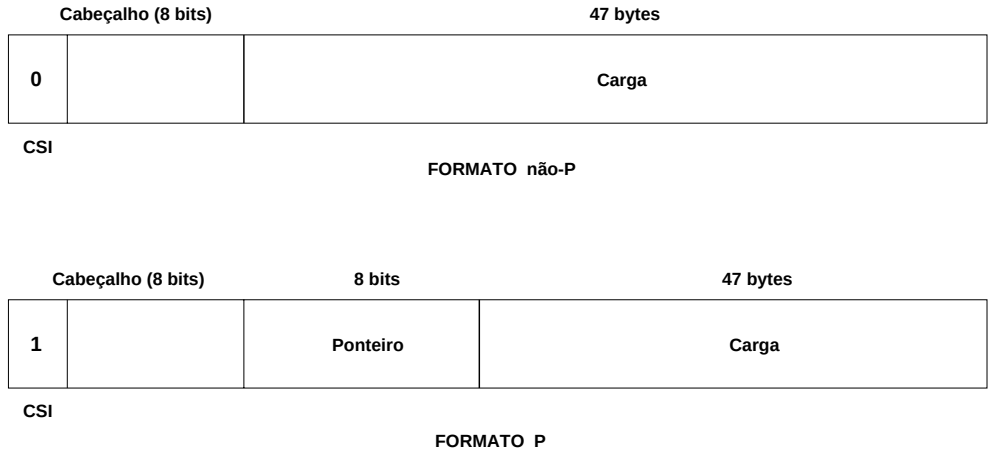

Figura 4.20: AAL1-PDU formatos P e não-P

No formato não-P a subcamada de convergência não acresenta nenhuma informação de controle aos dados submetidos pela camada usuária. Formatos não-P ocorrem obrigatoriamente quando o contador de sequência da SAR-PDU assume valor 1, 3, 5 ou 7.

O formato P pode ocorrer apenas quando o contador de sequência da SAR-PDU assumir valor 0, 2, 4 ou 6. Neste formato, a subcamada de convergência acrescenta um ponteiro de um byte à informação submetida pela camada usuária. Este ponteiro indica o número de bytes do bloco de informação que pode ocupar, no máximo, os 46 bytes restantes da CS-PDU e os 47 bytes da CS-PDU (não-P) seguinte. A figura 4.21 exemplifica a trasferência estruturada de blocos com 64 bytes de informação.

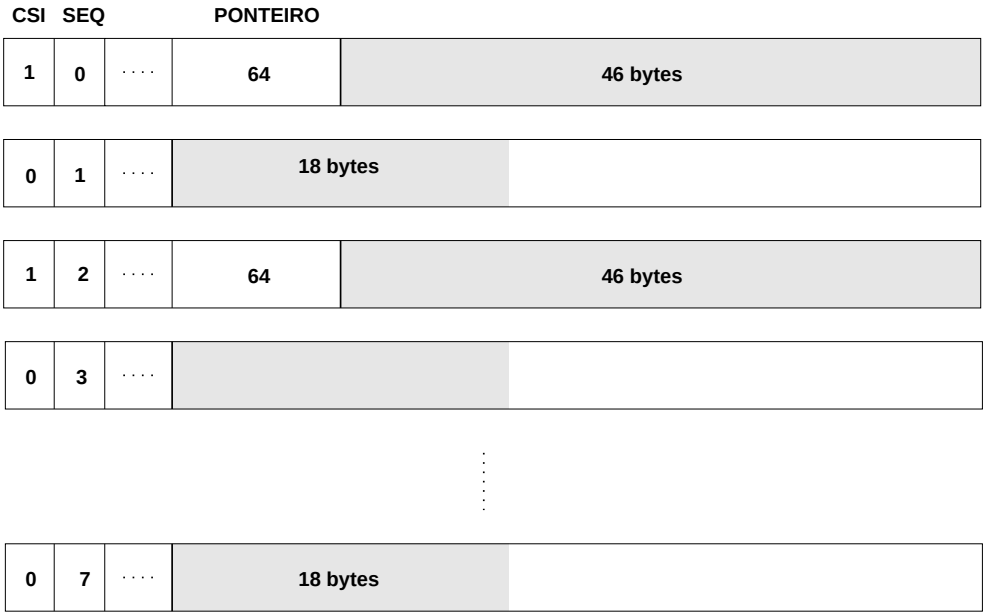

Figura 4.21: Exemplo de transferência estruturada para a ALL1

Recuperação de Relógio da Fonte

Recuperação de relógio da fonte é uma função importante da AAL1 para a manutenção do sincronismo fonte-destino conforme prescreve o serviço classe A. Esta função visa ajustar o relógio do receptor ao relógio da fonte de forma a manter no receptor a mesma taxa de bit da fonte. A recomendação ITU I363.1 descreve dois métodos para recuperação de relógio da fonte, dependendo da existência ou não de um relógio comum provido pela rede e disponível tanto na fonte como no destino[7]. Estes métodos são:

1. método do relógio adaptativo;
2. método da marca de tempo residual síncrona (SRTS: Synchronous Residual Time Stamp).

O método do relógio adaptativo não utiliza um relógio comum, nem transporta qualquer informação de relógio da fonte para o destino. O método utiliza um buffer no receptor para compensar variações do atraso provocadas pela rede.

[7]Na prática, o relógio comum é disponível somente quando a rede de transporte for síncrona (SDH, por exemplo). Neste caso o relógio é a própria frequência da rede de transporte.

O método opera da seguinte maneira (figura 4.22). À medida que as SDUs vão sendo recebidas pela camada de adaptação, as mesmas são armazenados num buffer. O buffer possui dois limites: um superior e um inferior. As SDUs são entregues ao receptor a uma taxa tal que o nível do buffer situe-se entre estes limites. Quando a quantidade de dados no buffer atingir o limite superior é sinal que a fonte aumentou sua taxa e, consequentemente, SDUs devem ser entregues ao receptor a uma taxa maior que a taxa corrente. De maneira oposta, quando a quantidade de dados atingir o limite inferior do buffer, SDUs passam a ser entregues a uma taxa inferior à taxa corrente.

Deve-se atentar para o fato que o método do relógio adaptativo compensa a variação do atraso à custa de um aumento no próprio atraso (tempo de permanência da SDU no buffer).

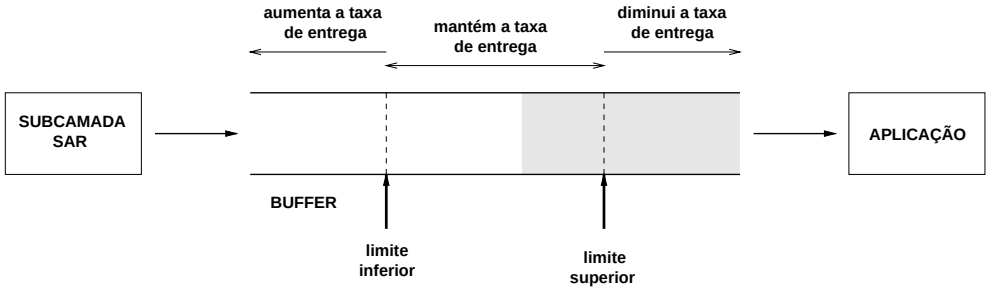

Figura 4.22: Método do Relógio Adaptativo para sincronização fonte-destino

O método da marca de tempo residual (SRTS) exige um relógio comum mantido pela rede e disponível no lado da fonte e do destino. A seguinte notação é utilizada na descrição do método:

f_s	relógio local (de serviço)
f_n	relógio da rede (por exemplo 155.52 MHz)
f_{nx}	relógio derivado do relógio da rede: $f_{nx} = f_n/x$
N	número de ciclos de f_s entre duas sincronizações
T	período entre duas sincronizações: $T = N * f_s^{-1}$

A figura 4.23 ilustra a operação do SRTS. A cada período T igual a N ciclos de seu relógio de serviço f_s, a fonte computa quantos ciclos do relógio f_{nx} foram gerados (M_q ciclos). Caso M_q seja transmitido ao receptor, este pode sincronizar seu relógio com o relógio da fonte, ajustando-o para gerar os exatos M_q ciclos (lembre-se que ambos fonte e receptor têm acesso ao relógio comum da rede). M_q é transmitido da seguinte maneira. Seja o intervalo $M_{min} - M_{max}$ de variação de M_q. Seja ainda o inteiro p tal que $2^p \geq (M_{max} - M_{min})$ (veja figura 4.23).

O metodo SRTS transmite p ao receptor utilizando 4 SAR-PDUs consecutivos (os de numero ímpar: 1, 3, 5, 7) conforme ilustra a figura 4.24. O campo CSI é empregado para tal. p é computado através da seguinte expressão:

$$y = N \times \frac{f_{nx}}{f_s} \times \epsilon$$

$$2^{(p-1)} > \top y$$

onde ϵ é a precisão do relógio de serviço f_s e $\top y$ denota o menor inteiro maior ou igual a y.

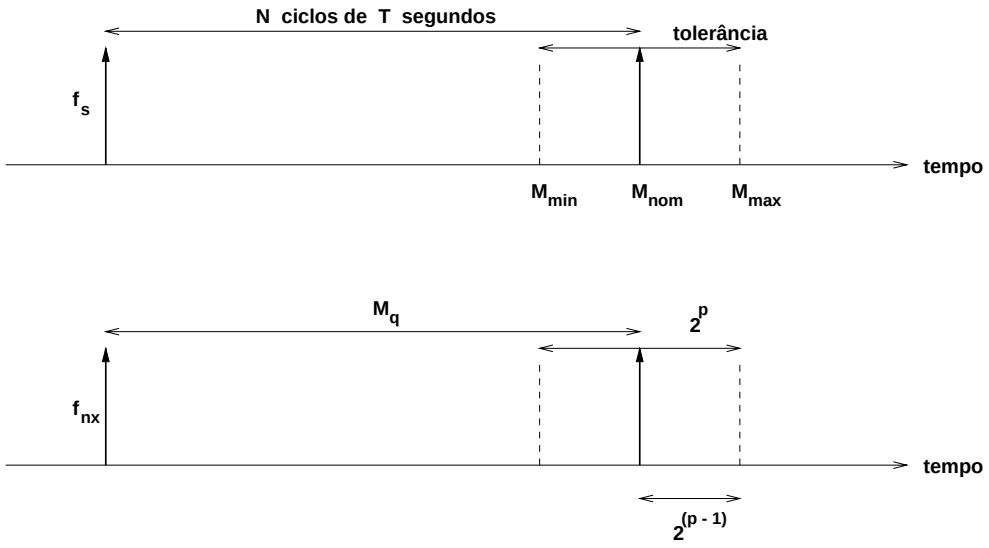

Figura 4.23: Método da Marca de Tempo Residual para sincronização fonte-destino

Resta ainda um valor a ser estabelecido: o valor x de f_{nx}. f_{nx} é computado areavés das seguintes expressões:

$$f_{nx} = \frac{f_s}{2^k}, k = 0, 1, ...$$

$$1 \leq f_{nx}/f_s < 1$$

Seja por exemplo uma rede SDH operando à taxa de 155.52 Mbits/s onde um relógio f_8 de 8 kHz é disponibilizado. Seja um relógio de serviço f_s operando à 2048 kHz. Neste caso

$$f_{nx} = f_8 \times \frac{19440}{2^k}\ kHz$$

Temos obrigatoriamente $k = 6$ com $f_{nx} = 2430$. Ainda neste exemplo, seja $\epsilon = 200 \times 10^6$ e $N = 3008$ (quantidade de bits de dados em 8 SAR-PDUs), portanto

$$y = 3008 \times \frac{2040}{2048} \times 200 \times 10^6 = 0.60$$

Como $\top y = 1$, $2^{(p-1)} > 1$ o que resulta $p = 2$. Note que p é sempre menor que 4.

4.3.4 A Camada de Adaptação Tipo 2

A camada de adaptação tipo 2 (AAL2) ainda não teve sua especificação concluída. O objetivo deste tipo é prover serviço classe B para tráfego com características rt-VBR (real-time Variable Bit Rate).

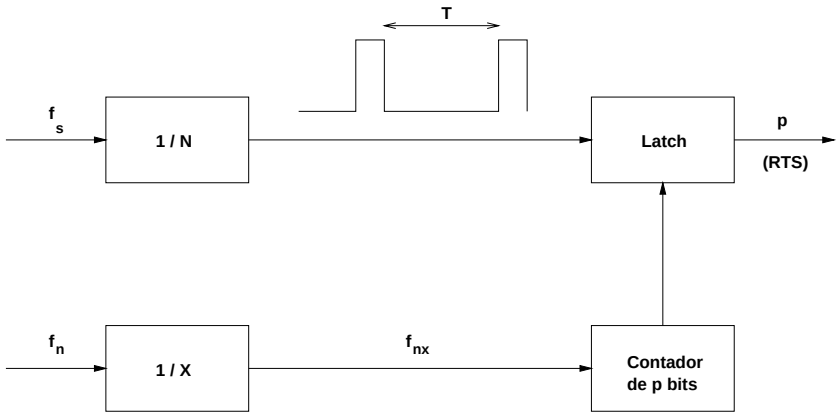

Figura 4.24: Operação do Método da Marca de Tempo Residual

4.3.5 A Camada de Adaptação Tipo 3/4

A camada de adaptação tipo 3/4 (AAL3/4) teve sua origem na união das camadas de adaptação tipo 3 e tipo 4, muito semelhantes. A AAL3/4 suporta os serviços classe C e D, onde o fonte não opera a uma de bit constante e o sincronismo entre a fonte e o destino não se faz necessário.

Diferentemente da AAL1, a AAL3/4 particiona a camada de convergência em duas subcamadas (SSCS e CPCS). Entretanto nenhum padrão para a subcamada SSCS existe até o momento, sendo esta subcamada uma mera interface para a subcamada CPCS (SSCS nula).

AAL3/4 define um SAP para o recebimento de SDUs da entidade usuária. A primitiva AAL-UNITDATA é utilizada para esta finalidade, tal qual na AAL1.

Primitivas relacionadas ao término adrúpto de uma conexão AAL3/4 são também definidas neste SAP:

- AAL-U-ABORT.request: solicitação de término adrúpto de sessão iniciado pela camada usuária;
- AAL-U-ABORT.indication: informe de término adrúpto de sessão iniciado pela camada usuária remota;
- AAL-P-ABORT.indication: informe de término adrúpto de sessão iniciado pela camada AAL3/4.

A subcamada CPCS define uma primitiva para troca de informação com esta subcamada: CPCS-UNITDATA.invoke e CPCS-UNITDATA.signal. Estas primitivas possuem os seguintes parâmetros (durante uma transmissão):

- unidade de dados de interface (IDU): a informação sendo submetida para transmissão (uma AAL-SDU caso SSCS seja nula) - deve ser múltiplo de 1 byte;
- M (More): permite montar uma CPCS-PDU a partir de várias CPCS-SDUs;
- tamanho máximo: o tamanho máximo da CPCS-SDU;
- estado da recepção: indica possível existência de dados corrompidos na recepção (modo "signal" apenas).

A subcamada SSCS, quando nula, define as primitivas no mesmo formato da subcamada CPCS, fazendo com que as primitiva AAL-UNITDATA também assuma o formato de CPCS-UNITDATA (em outras palavras, a interface da AAL3/4 é a primitiva CPCS-UNITDATA, apenas com o nome trocado para AAL-UNITDATA).

A subcamada SAR define uma primitiva para troca de informação com a subcamada CPCS: SAR-UNITDATA.invoke e SAR-UNITDATA.signal. Os parâmetros desta primitiva são idênticos aos da primitiva CPCS-UNITDATA. Além destas, a primitiva SAR-U-ABORT (tipos invoke e signal) é utilizada para sinalizar o término adrúpto de transferência de uma CPCS-SDU.

Subcamada SAR

Uma SAR-PDU da camada de adaptação tipo 3/4 possui o formato da figura 4.25. Dois bytes formam o cabeçalho da SAR-PDU e outros dois o fecho, sobrando, portanto, 44 bytes para dados.

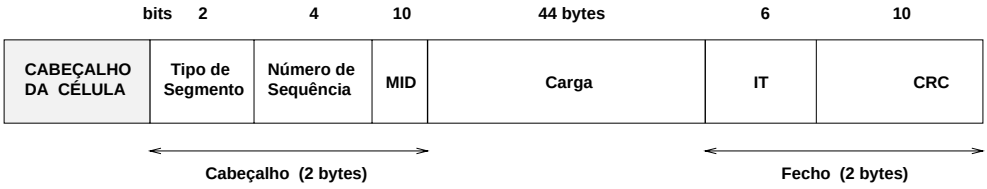

Figura 4.25: SAR-PDU para a AAL3/4

O campo Tipo de Segmento (TS) de 2 bits pode conter os seguintes valores:

- início de mensagem (BOM: Begin Of Message): indica que a SAR-PDU carrega o primeiro segmento da CPCS-SDU (codificação: 10);
- continuação de mensagem (COM: Continuation of Message): indica que a SAR-PDU carrega um segmento intermediário da CPCS-SDU (codificação: 00);
- fim de mensagem (EOM: End Of Message): indica que o que a SAR-PDU carrega uo último segmento da CPCS-SDU (codificação: 01);
- mensagem de único segmento (SSM: Single Segment Message): indica que a SAR-PDU carrega um CPCS-CSU inteiro (codificação: 11);

O campo Número de Sequência (NS) de 4 bits numera as SAR-PDUs em módulo 16. O campo Identificador de Multiplexação (MID: Multiplexing Identifier) permite identificar os elementos de uma CPCS-SDU. Com este identificador torna-se possível multiplexar várias conexões AAL3/4 numa única conexão ATM. Esta característica não está presente nos demais tipos de camada de adaptação.

O fecho possui dois campos: Indicador de Tamanho (IT) e Código de Redundância Cíclica (CRC). O campo IT determina a quantidade de bytes que a SAR-PDU carrega. O valor deste campo é dado em função do campo TS:

TS	IT
BOM	44
COM	44
EOM	4 ... 44
SSM	8 ... 44
EOM	63 (Abort)

O indicador de tamanho (IT) com valor 63 é utilizado também para sinalizar o término adrúpto da transferência de certa CPCS-SDU (identificado pelo campo MID). Esta SAR-PDU é gerada quando a primitiva SAR-U-ABORT é invocada.

Finalmente, o campo CRC de 10 bits é utilizado para detecção de erro no cabeçalho, fecho e dados. O polinômio gerador é dado por $x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$.

A Subcamada CPCS

A subcamada CPCS define dois modos de troca de informação:

1. Modo de Mensagem: os dados da CPCS-SDU são passsados à subcamada CPCS numa unica operação;

2. Modo "Stream": os dados da CPCS-SDU são passsados à subcamada CPCS numa sequência de operações. Este modo permite o uso da primitiva CPCS-U-ABORT (que irá invocar SAR-U-ABORT) para interromper abruptamente a trasnferência de uma CPCS-PDU.

O modo Mensagem ou Stream é selecionado através do parâmetro M (mais) da primitiva CPCS-UNITDATA. Se a primitiva é invocada com o bit M ativado, o modo Stream é selecionado. Neste modo uma CPCS-PDU é formada com segmentos de dados passados via invocações subsequentes de CPCS-UNITDATA (até que o bit M seja 0). Caso o bit M esteja desativado na primeira chamada de CPCS-UNITDATA, o segmento passado é transmitido no modo Mensagem.

A subcamada CPCS define uma CPCS-PDU com oito octetos: 4 de cabeçalho e 4 de fecho (figura 4.26). O protocolo da subcamada CPCS exige que os dados transportados numa CPCS-PDU sejam múltiplos de 4 bytes. O campo Identificador de Parte Comum (CPI: Common Part Identifier) de 8 bits é utilizado para identificar os campos subsequentes. Atualmente não é utilizado assumindo sempre o valor 00000000.

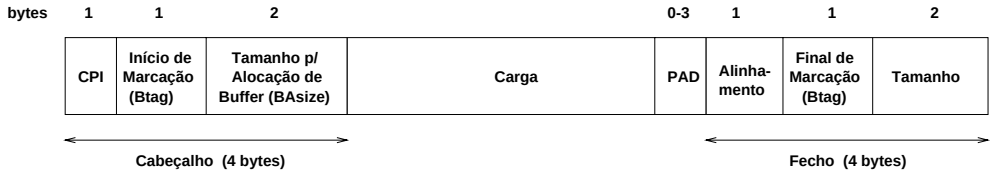

Figura 4.26: PDU para a subcamada CPCS da AAL3/4

O campo Início de Marcação (Btag: Beginning tag), também de 1 byte, é utilizado para "amarrar" o cabeçalho ao fecho de uma CPCS-PDU. O emissor utiliza um contador que é incrementado a cada CPCS-PDU associada a um determinado MID, adicionando o valor do contador aos campos Btag e Etag (Ending tag).

O campo Tamanho para Alocação de Buffer (BAsize: Buffer Allocation size) de 2 bytes indica o tamanho maximo de buffer (em bytes) necessários para processar a CPCS-PDU (igual ou superior ao tamanho indicado no campo Tamanho).

Um enchimento (pad) de 0 a 3 bytes é utilizado ao final dos dados para tornar o tamanho da carga da CPCS-PDU (conforme indicado no campo Tamanho do fecho) múltiplo de 4 bytes.

O campo Alinhamento presente no fecho, de 1 byte, é utilizado para tornar o fecho também múltiplo de 4 bytes, não contendo nenhuma informação.

O campo Tamanho presente no fecho, de 2 bytes, informa o tamanho em bytes da CPCS-PDU. Um valor máximo de 64 Kbytes é permitido para uma CPCS-PDU.

A figura 4.27 ilustra a transferência de dados pela camada de adaptação tipo 3/4.

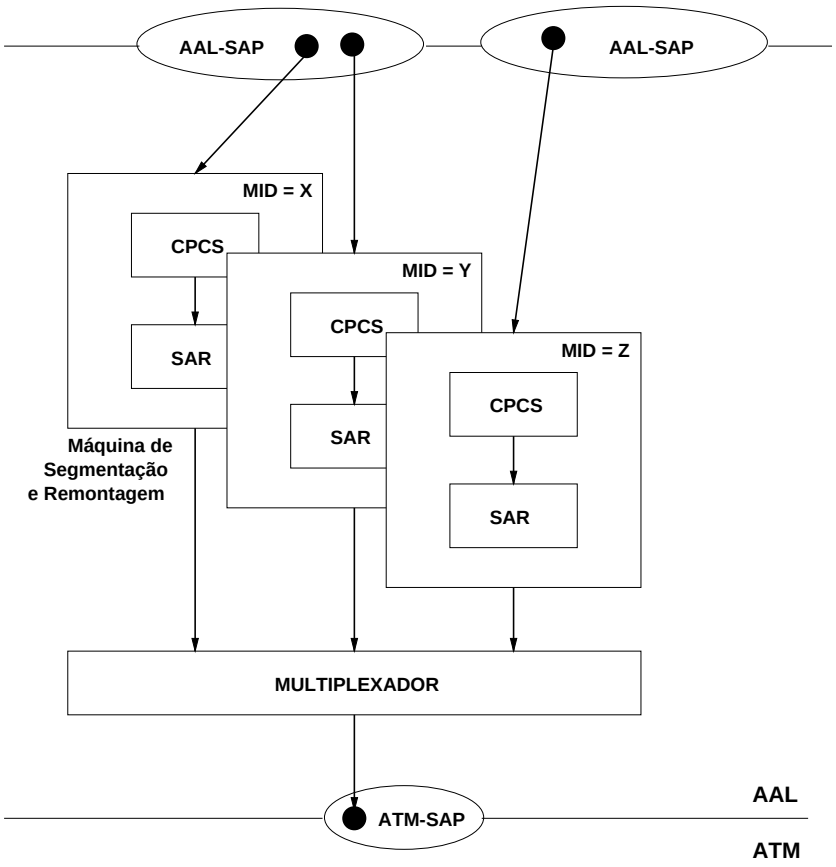

Figura 4.27: Transferência de dados através da AAL3/4. Círculos escuros representam conexões AAL e ATM

4.3.6 A Camada de Adaptação Tipo 5

A Camada de Adaptação tipo 5 (AAL5) visa propiciar um serviço de adaptação com baixo *overhead*, de fácil implementação, e que atenda a uma vasta gama de aplicações. A AAL5 pode utilizar qualquer conexão da camada ATM. Entretanto conexões tipo UBR e ABR são as mais comuns para a AAL5.

A AAL5 é similar à AAL3/4 nos seguintes aspectos:

- subdivisão da camada de convergência (CS) em partes comuns e específica (CPCS e SSCS);
- orientada a conexão;
- utilização dos modos de transferência "Mensagem" e "Stream";
- capacidade de transferir blocos de informação de até 64 Kbytes;
- não provê nenhum mecanismo de recuperação de informação perdida ou corrompida (no máximo, indicar à camada usuária que uma AAL-SDU está corrompida).

A primitiva AAL-UNITDATA, utilizada para transferência de dados para com a camada AAL5 possui o mesmo formato da primitiva CPCS-UNITDATA caso a subcamada de serviço específico (SSCS) seja nula.

A primitiva CPCS-UNITDATA, para transferência de dados para a subcamada de convergência de parte comum (CPCS) define os seguintes parâmetros para o modo "request":

- unidade de dados de interface (IDU): a informação sendo submetida para transmissão (uma AAL-SDU caso SSCS seja nula) - deve ser múltiplo de 1 byte;
- mais (CPCS-M: CPCS More): permite montar uma CPCS-PDU a partir de várias CPCS-SDUs;
- prioridade de perda (CPCS-LP: CPCS Loss Priority): atribui prioridade à CPCS-SDU sendo submetida. Possui apenas dois valores: alta ou baixa. Este parâmetro é obrigatório no modo de transferência "Stream";
- indicativo de congestionamento: indica se a CPCS-SDU experimentou congestionamento quando em trânsito;
- indicativo inter-usuário (CPCS-UU: CPCS User-to-User indication): octeto transportado de forma transparente pela AAL5 utilizado para sinalização entre as entidades usuárias.

A primitiva CPCS-UNITDATA.indication possui os mesmos parâmetros da primitiva CPCS-UNITDATA.request e, opcionalmente, um parâmetro de status informando se a SDU sendo entregue é válida ou não.

Primitivas para término abrupto de transferência de CPCS-PDUs são definidas tal qual na AAL3/4 (CPCS-U-ABORT e CPCS-P-ABORT).

A primitiva SAR-UNITDATA, para transferência de dados para a subcamada de segmentação e remontagem (SAR) define os seguintes parâmetros para o modo "request":

- unidade de dados de interface (IDU): a informação sendo submetida para integral de 48 bytes;
- mais (SAR-M): especifica se a IDU sendo submetida contém o último segmento da SAR-SDU;
- prioridade de perda (SAR-LP): o mesmo especificado para a subcamada de convergência e mapeado em parâmetro equivalente da camada ATM;
- indicativo de congestionamento (SAR-CI): o mesmo especificado para a subcamada de convergência e mapeado em parâmetro equivalente da camada ATM.

A Subcamada SAR

O baixo *overhead* da AAL5 se deve à simplicidade de sua subcamada SAR. Esta subcamada provê apenas mapeamento entre os parâmetros CPCS M, LP e CI da subcamada CPCS para a camada ATM e vice-versa.

SAR-PDUs da AAL5 são desprovidos de cabeçalho, utilizando portanto os 48 bytes de carga da célula ATM para transporte de CPCS-SDUs (figura 4.28).

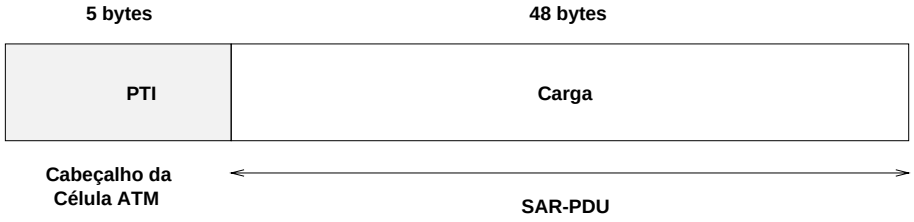

Figura 4.28: SAR-PDU para a AAL5

Os parâmetros CPCS-M e CPCS-IC são mapeados no campo PTI (Payload Type Identifier) da célula ATM:

IC	CPCS-UU	PTI
0	0	000
0	1	001
1	0	010
1	1	011

O parâmetro CPCS-LP é mapeado no parâmetro SLP (Submitted Loss Priority) e RLP (Received Loss Priority) da primitiva ATM-DATA.

A Subcamada de Convergência

A subcamada de convergência da AAL5 opera de modo similar à da AAL3/4. A parte comum da subcamada de convergência define um protocolo para transferência de AAL-SDUs sem recuperação de erros. O protocolo utiliza uma CPCS-PDU dado pela figura 4.29. A PDU utiliza apenas um fecho de 8 bytes e permite o transporte de até 65.535 bytes de informação. A quantidade de informação deve múltiplo de 48 bytes, definindo-se um enchimento (pad) de 1 a 47 bytes caso a AAL-SDU submetida para transmissão não satisfaça esta regra.

O primeiro campo do fecho, CPCS-UU de 1 byte, transporta de forma transparente o parâmetro CPCS-UU passado como parâmetro na primitiva CPCS-UNITDATA.

O campo CPI (Common Part Indicator), de 1 byte, é reservado para uso futuro. Por ora sua utilidade é simplesmente tornar o tamanho do fecho múltiplo de 8 bytes.

O campo Tamanho, de 2 bytes, informa o tamanho da carga da CPCS-PDU. Finalmente, o campo CRC de 4 bytes (32 bits) é utilizado para detecção de erro no fecho e dados. O polinômio gerador é o CRC-32 da ISO.

Note que uma CPCS-PDU da AAL5 não carrega nenhum identificador tipo MID tal qual na AAL3/4. Isto impede a multiplexação de várias sessões AAL numa única conexão ATM. Uma das

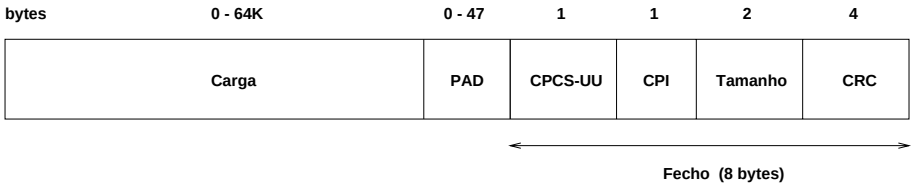

Figura 4.29: PDU para a subcamada CPCS da AAL5

funções previstas para a parte específica da AAL5 (SSCS) é justamente o provimento desta forma de multiplexação.

Capítulo 5

Redes de Acesso

5.1 Rede de Acesso Faixa Larga

As tecnologias envolvendo a rede de acesso têm recebido uma atenção muito grande nos últimos anos. A razão básica para este interesse deve-se às perspectivas comerciais que se abrem para o acesso remoto de alta velocidade de serviços de comunicação para os usuários residenciais e os pequenos negócios. Há muitos anos que se vem anunciando as possibilidades de um acesso remoto a taxas mais elevadas do que aquelas permitidas pelo acesso tradicional via modem utilizando as linhas convencionais de telefonia. Entretanto, o impulso real dado a estas tecnologias ocorreu com a explosão da Internet e, em especial, o surgimento do WWW (*World Wide Web*).

Os aspectos técnicos envolvendo o acesso em faixa larga podem ser divididos em duas abordagens principais: a) como o tráfego é codificado, modulado e gerenciado no enlace do assinante?, e b) como o assinante deve ser conectado ao sistema?, ou seja, qual o tipo de meio a ser utilizado. No primeiro caso, existem novos esquemas de codificação e modulação que oferecem uma comunicação bi-direcional e altas velocidades. No segundo caso, os dois grandes atores são as empresas de telefonia e as de TV a cabo. As primeiras procuram explorar a infra-estrutura de fios de cobre já instalada e as empresas de TV a cabo procuram evoluir a infra-estrutura já existente de difusão de TV analógica. Uma terceira via que deverá ganhar importância para os próximos anos é o acesso sem fio onde novas empresas terão um papel importante, por exemplo, através das redes de satélite previstas para entrar em operação nos próximos anos.

5.1.1 Estado Atual das Redes Residenciais e do Acesso a Internet

As principais redes conectadas ao assinante atualmente são as redes telefônica e de TV a cabo. A rede telefônica possui uma interconexão ponto a ponto bi-direcional entre o assinante e a central local (CO) e baseia-se em uma estrutura comutada por circuitos. A situação atual é caracterizada por canais de comunicação disponíveis nas residências e escritórios voltados para um tráfego de voz analógico com uma largura de banda entre 0.3 a 3.5 kHz.

A utilização da infra-estrutura comutada por circuito utilizada atualmente para acessar a Internet pode significar a utilização dos circuitos telefônicos durante horas o que acarreta uma série de problemas para a rede telefônica. O desenvolvimento de redes faixa larga baseadas na comutação de pacotes para acesso à Internet, além de resolver o problema da velocidade, também melhora a situação da infra-estrutura baseada na comutação de circuito ao evitar a necessidade de operar os circuitos telefônicos por longos intervalos de tempo.

Devido à demanda representada pelo tráfego de dados no acesso residencial e de escritórios,

novos modems foram desenvolvidos com técnicas que permitem taxas de transferência da ordem de 33 kbits/s. Estas taxas de transferência, apesar de melhorarem sensivelmente a situação anterior representada por modens de baixa velocidade, são insuficientes para aplicações com características multimídia. Uma primeira tentativa de melhorar a situação foi realizada com a tecnologia ISDN que permite taxas de 64 kbit/s ou 128 kbit/s o que acrescenta uma melhora marginal às tecnologias anteriores. Entretanto, esta solução está longe de ser satisfatória pois a pressão por taxas mais elevadas nas redes de acesso têm sido colocada de forma cada vez mais forte impulsionada pelo interesse no acesso à rede Internet, em especial, os recursos multimídia disponíveis na navegação pelo WWW. Por outro lado, a TV a cabo é uma rede de difusão (*broadcast*) possibilitando a difusão da informação um para muitos em um único sentido. O *headend* recebe o sinal de vídeo e difunde-o nos vários cabos coaxiais através de um esquema de multiplexação por frequência através de canais de 6 MHz cada. Além de possuir limitações para o tráfego *upstream* a TV a cabo não possui os *headends* conectados, ou seja, uma rede faixa larga regional deve ser implantada para conectá-los de modo a fornecer conectividade fim-a-fim entre os assinantes. As figuras 5.1 e 5.2 ilustram as duas redes de acesso atualmente disponíveis.

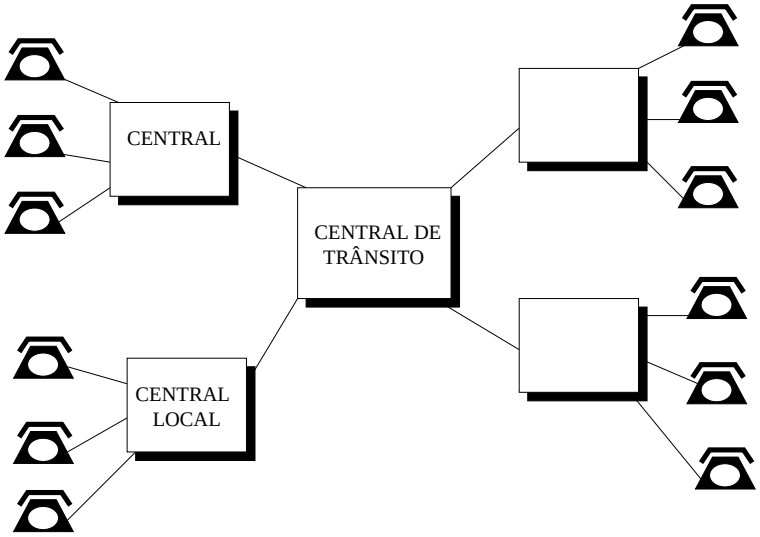

Figura 5.1: Arquitetura da rede telefônica

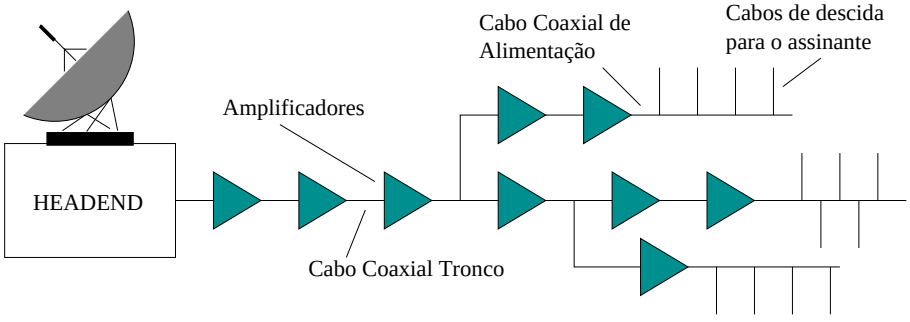

Figura 5.2: Arquitetura da rede tradicional de TV a Cabo

5.2 Rede de Acesso Faixa Larga

Atualmente os assinantes acessam a Internet via conexões discadas pela rede telefônica (analógica) ou ISDN (digital) a um Ponto de Presença (POP) de um Provedor de Serviço Internet (ISP) conforme mostrado na figura 5.3.

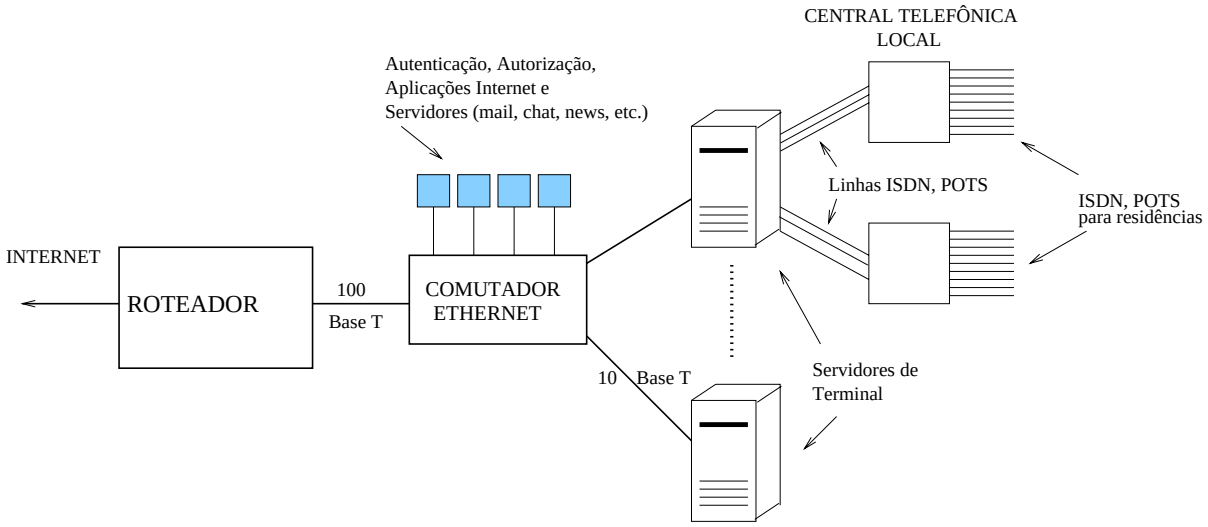

Figura 5.3: Exemplo de configuração de acesso discado a um ISP

O circuito comutado liga o assinante a um servidor de linhas constituído por um banco de modems e serviços IP para conexão à Internet. Nesta conexão utiliza-se geralmente o protocolo PPP que permite a atribuição de um endereço IP ao assinante durante o período no qual a conexão é mantida, além de realizar o encapsulamento do pacote IP, autenticação, compressão e criptografia para o tráfego IP. Os terminais conectam-se, por exemplo, a um comutador ethernet que por sua vez conecta-se a um roteador que permitirá a conexão à Internet através de um Ponto de Acesso (NAP). Caso o provedor de serviço Internet (ISP) possua um *backbone* Internet, o roteador estará conectado ao *backbone* IP do provedor que por sua vez acessará vários NAPs através do país. O ISP possui ainda um conjunto de servidores responsáveis pela oferta de serviços Internet tais como correio eletrônico, *chats* e novas aplicações.

Conforme comentado anteriormente esta estrutura compromete a engenharia de tráfego típica das redes telefônicas que prevê uma duração da ordem de 3 a 5 minutos na ocupação da linha e que, no caso do acesso à Internet, pode traduzir-se em horas. Desta maneira a capacidade dos comutadores telefônicos torna-se bastante comprometida à medida que mais usuários utilizam os serviços *on-line*. Esta situação agrava-se pois não há aumento de receitas na medida em que as chamadas locais possuem uma estrutura de tarifação horizontal ("flat").

Requisitos para a Rede de Acesso

Os requisitos devem atender as demandas do serviço residencial nos níveis funcional e de conectividade.

- Requisitos de Conectividade

A rede deve permitir o acesso a múltiplos serviços de rede: Internet, Redes Corporativas, serviços locais e comunicação *peer-to-peer* conforme ilustrado na figura 5.4.

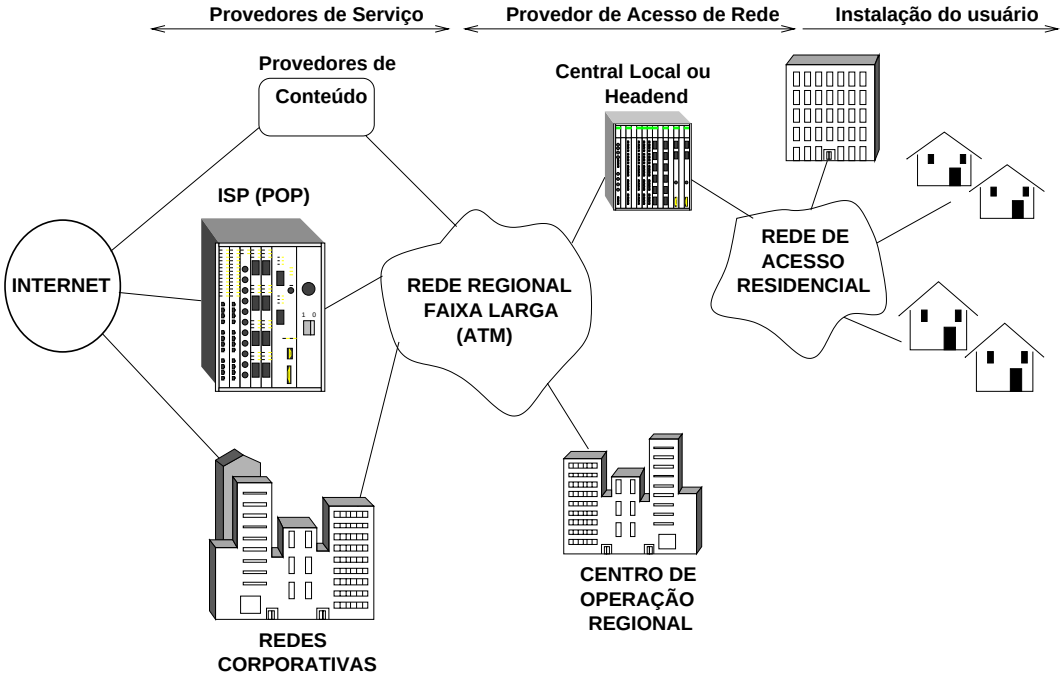

Figura 5.4: Requisitos de acesso: internet, redes corporativas, conteúdo local e comunicação *peer-to-peer*

O interesse nos acessos à Internet ou a redes corporativas são evidentes. No caso dos serviços locais temos a situação na qual é possível abrigar servidores de conteúdo localmente sem necessidade de alcançar a Internet. Este contúdo pode encontrar-se armazenado em POPs, nos Centros Regionais de Operação (ROC) ou, ainda, armazenados localmente nas próprias residências e escritórios. A comunicação *peer-to-peer* traduz-se na possibilidade de conectar consumidores através de aplicações do tipo telefone com vídeo ou jogos interativos.

- Requisitos Funcionais

  De forma complementar aos requisitos de conectividade discutidos anteriormente são apresentados na sequência os requisitos funcionais que devem ser atendidos por uma nova infra-estrutura de rede de acesso:

  1. Facilidade de migração da infra-estrutura atual: a idéia neste caso é que qualquer nova infra-estrutura de acesso faixa larga preserve o máximo possível a atual, especialmente do ponto de vista do gerenciamento e administração, por exemplo, administração dos endereços IP e nome dos domínios, e que preserve o máximo possível da infra-estrutura de rede atual;
  2. Suporte Multi-protocolo: como várias redes corporativas não executam o protocolo IP é necessário a negociação de protocolos e atribuição de endereços;
  3. Segurança: requisitos de autenticação, autorização e privacidade;
  4. *Multicast*: requisito fundamental na difusão de áudio e vídeo na Internet;

5. Suporte a Múltiplas Classes de Serviço: necessário para o atendimento de demandas diferentes tendo como base atributos como banda máxima, média ou mínima;
6. Suporte à Qualidade de Serviço: necessário para suportar os requisitos de tráfego multimídia, especialmente do ponto de vista do atraso.

As novas tecnologias de acesso possuem 2 abordagens básicas: a) melhorar a utilização da infra-estrutura existente baseada em fios de cobre através da utilização de novas técnicas de codificação e modulação e b) substituição da infra-estrutura, ou parte da infra-estrutura, de fios de cobre por meios de transmissão de maior capacidade. Recentemente, novas especificações de modulação e codificação têm sido padronizadas, como também, opções de conexão têm sido implementadas, algumas empregando técnicas recentes de codificação e modulação. A figura X ilustra os novos esquemas para a rede de acesso.

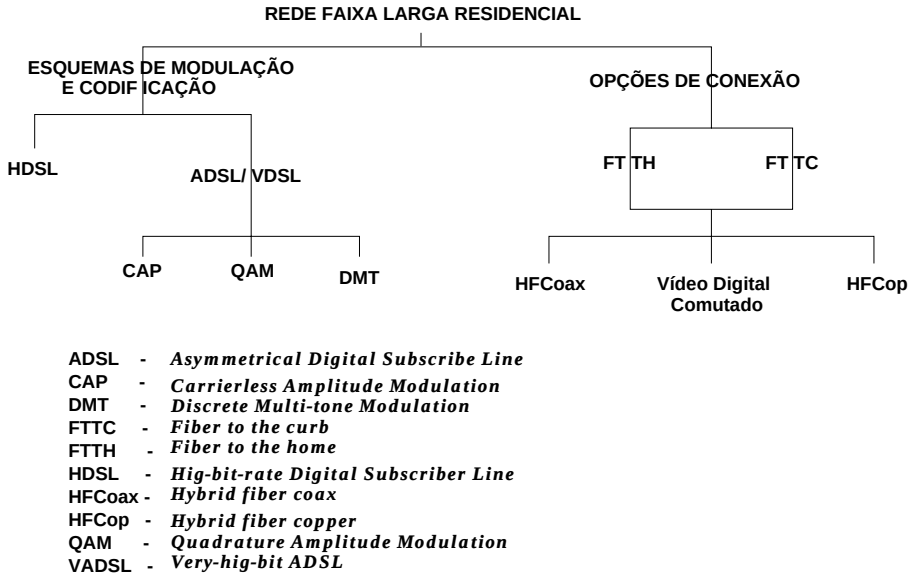

Figura 5.5: Esquemas de codificação e conexão

A figura 5.4 ilustra um modelo para a arquitetura de serviço banda larga residencial.Neste modelo podem ser destacadas 4 redes entre o assinante e o provedor de serviço de rede:a rede interna do assinante, a rede de acesso, a rede da central local e a rede faixalarga regional. No escopo deste capítulo o nosso interesse limita-se à rede de acesso.

5.2.1 Rede de Acesso

As arquiteturas atuais representadas pelas redes telefônica e a cabo devem evoluir através de novas arquiteturas tais como o acesso baseado nas linhas digitais de acesso (xDSL), FTTC (*Fiber to the Curb*), FTTH (*Fiber to the Home*) e HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*). As opções adotadas pelos operadores de redes públicas baseiam-se na infra-estrutura disponível nas respectivas redes. Por exemplo, as operadoras de redes telefônicas têm interesse em aproveitar a infra-estrutura de fios de cobre existente e introduzir os modems de alta velocidade (xDSL) ou fibras nas arquiteturas FTTC ou FTTH. Por outro lado, as operadoras de TV a cabo procuram aproveitar a árvore formada por ramos de cabos coaxiais e também introduzir a fibra através da arquitetura HFC.

Do ponto de vista das aplicações ou do usuário, o tipo de rede de acesso é irrelevante desde que as aplicações sejam suportadas com a qualidade de serviço solicitada. No caso do protocolo IP a rede de acesso é vista como uma solução no nível de enlace (camada 2) que encapsula o pacote IP de forma similar ao que ocorre, por exemplo, no caso Ethernet.

5.3 Técnicas de Modulação e Codificação

As técnicas de modulação e codificação mais importantes são discutidas a seguir.

5.3.1 High-bit-rate Digital Subscriber Line - HDSL

A figura 5.6 ilustra a codificação de linha utilizada no caso da tecnologia HDSL. Ela baseia-se na codificação de linha 2B1Q utilizada no ISDN 2B+D e opera a distâncias de 12.000 pés em um fio de cobre de 24 gauges ou 9.000 pés em um fio de 26 gauges. As linhas são 2 pares *full-duplex* que suportam taxas de 784 kbit/s.

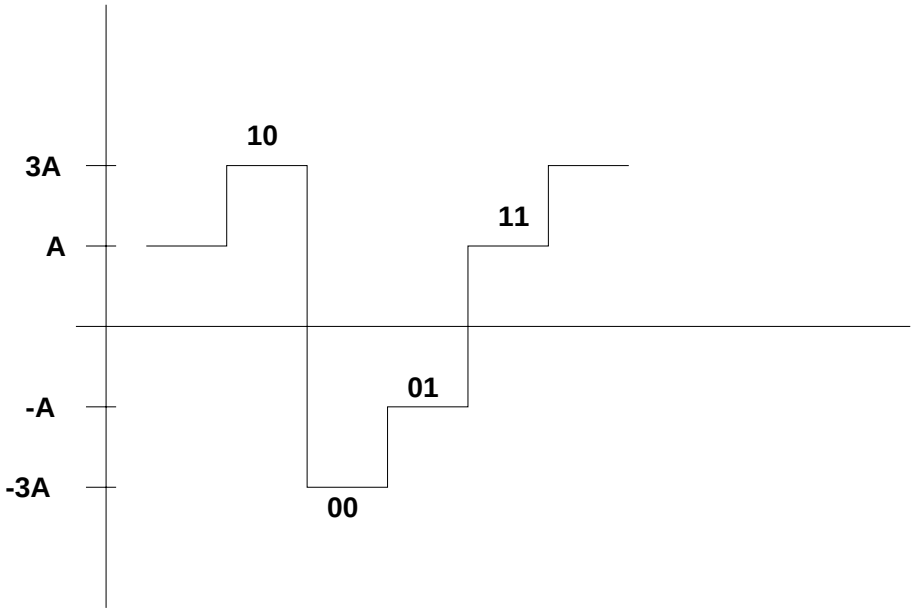

Figura 5.6: Codificação 2B1Q

O HDSL representa uma tecnologia barata e fácil de ser implantada, simétrica e a sua manutenção também é simples. Entretanto, as taxas associadas são ainda modestas do ponto de vista da demanda das novas aplicações multimídia levando ao desenvolvimento de novas soluções.

5.3.2 Técnicas de Modulação e Codificação para a Rede de Acesso

Os modems utilizam 3 formas básicas de modulação: amplitude, frequência e fase. Em cada uma delas o dado (informação digital) é incorporado a uma portadora analógica a qual possui um dos seus parâmetros alterados, ou seja, a sua amplitude, ou a frequênica ou a fase.

De modo a aumentar a taxa de bits transmitidos muitos modems (V.32 e V.34) utilizam a codificação multi-nível a qual é ilustrada na figura 5.7 a seguir.

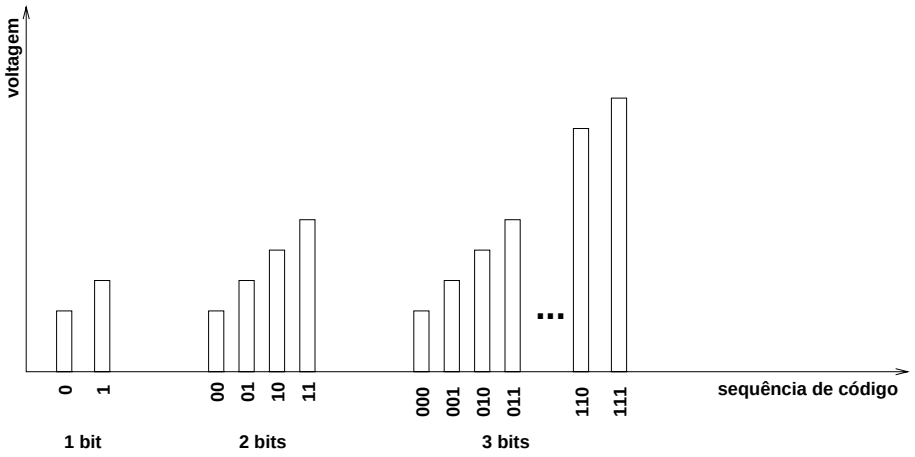

Figura 5.7: Codificação Multinível

Na parte mais a esquerda da figura podemos observar que dispomos de possíveis sinais codificados e interpretados como 0 e 1, ou seja, o sinal pode possuir somente 2 estados. No caso do meio da figura a sinal pode possuir 4 estados permitindo a representação de 2 bits por estado e no lado direito da figura temos a situação onde o sinal pode possuir até 8 estados o que permite representar 3 bits por estado. O tipo de sinalização expressada na figura anterior é denominada de *baud* ou intervalo de sinalização, taxa de símbolo ou, ainda, taxa de pulso.

As taxas de símbolo e de bit serão iguais somente se um bit é representado a cada variação do sinal como nos modens mais lentos, ou seja, da ordem de 1200 bit/s. Os modens de mais alta velocidade empregam a modulação multinível permitindo que mais de um bit seja representado para cada *baud*. O *baud* é calculado pela expressão B=1/T, onde B representa a taxa em bauds e T o intervalo de sinalização em unidade de tempo.

A modulação de um sinal na linha telefônica através da técnica multinível baseia-se na seguinte definição: R=D/N, onde R é a taxa de sinalização ou modulação em bauds, D corresponde à taxa de dados expressa em bits/s e N é o número de bits correspondente a cada elemento de sinalização.

Modems mais avançados utilizam uma combinação de técnicas de modulação para transmitir múltiplos bits por baud. Na figura x observa-se pontos que se encontram distribuídos com as seguintes fases: 0^o, 90^o, 180^o e 270^0 e com dois níveis de amplitude para cada fase, indicadas pela distância dos pontos à origem do diagrama.

No caso da parte a) da figura 5.8 que possui 8 combinações é possível transmitir 3 bits por baud ($2^3 = 8$) e no caso da parte b) são transmitidos 4 bits por baud ($2^4 = 16$). Esta é a razão pela qual os modems conseguem taxas de 9600 bps, 19.200 bps e 33,6 Kbps para um mesmo canal de 3000 Hz.

A figura 5.9 apresenta um esquema de modulação um pouco diferente mas utilizando o mesmo princípio sendo que no caso existem 16 combinações possíveis de deslocamento de fase e amplitude. Esta constelação pode ser gerada de diferentes formas, cada uma delas com uma denominação diferente. O QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) gera este padrão através de duas portadoras com 90^o de defasagem, modulando as respectivas amplitudes e adicionando-as posteriormente antes de transmiti-las na linha. Como esta modulação produz 16 estados possíveis ela é denominada de 16 QAM.

Outra possibilidade seria utilizar uma única portadora e modular tanto a sua fase como a sua amplitude. Esta modulação é denominada CAP (*Carrierless AM-PM*). Cada ponto na figura

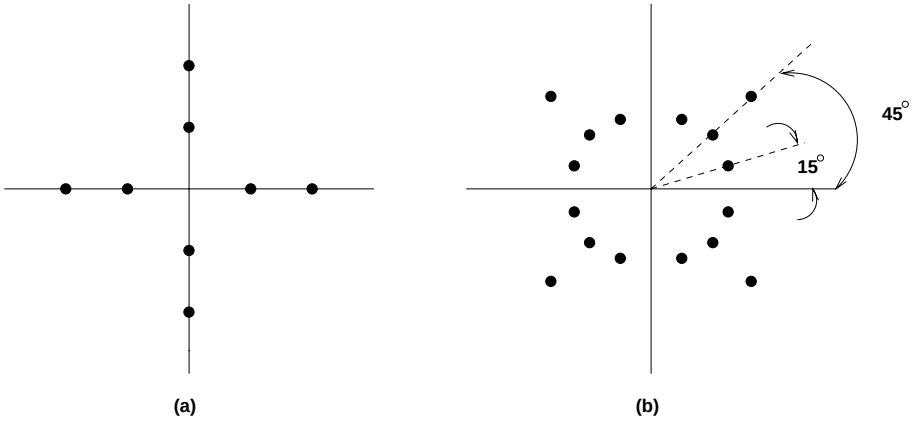

Figura 5.8: (a) Modulação 3 bits/baud. (b) Modulação 4 bits/baud.

corresponde a um dos 16 possíveis padrões encontrados na combinação de 4 bits para cada baud. Um modulador 16QAM com uma taxa de 600 bauds irá transmitir 2400 bps. A cada clock do relógio (600 Hz no caso deste exemplo), o modulador analisa os 4 bits mais recentes, isto após realizar algumas operações sobre os 4 bits (ex. *scrambling*), e desloca o vetor da portadora para a posição apropriada. Na recpção é realizada a operação dual.

5.3.3 Modems xDSL

Dentre as várias tecnologias que compõem a família xDSL, a tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscribe Line*) é a mais popular. O grande atrativo desta solução é o fato de poder ser implementada na infra-estrutura existente baseada em fio de cobre sem qualquer alteração, necessitando somente de um par de modems ADSL nas extremidades do par de fios.

A restrição principal do ADSL está associada à limitação de distância, por exemplo, o canal *downstream* (da central para o assinante) a 1,5 Mbps e o canal *upstream* (do assinante para a central) a 64 Kbps podem ser suportados em enlaces de cobre de até 18 Kft (....Km). Opções de taxa mais elevada (6 a 8 Mbps *downstream* e 640 Kbps *upstream*) podem alcançar entre 9 a 12 Kft (...Km). Um aspecto que deve ser destacado neste caso é que a capacidade dos canais *downstream* e *upstream* são dedicadas exclusivamente para cada par de modems ao invés do compartilhamento existente no caso do *cable modem*.

O serviço telefônico convencional (POTS - *Plain Old Telephone Service*) é suportado simultaneamente no mesmo fio de cobre que o ADSL pois as duas tecnologias utilizam regiões diferentes no espectro de frequência (figura 5.10).

5.3.4 *Cable Modem*

As empresas de TV a cabo expandem a sua infra-estrutura na direção da arquitetura HFC através de um canal de retorno *upstream* (do assinante para a central) permitindo uma comunicação nos dois sentidos. Os componentes da arquitetura HFC são: a planta formada pelos cabos coaxiais e a fibra ótica, os *cable modems* nas residências e o *switch*/roteador na central local. A organização da planta é estruturada através de vizinhanças formadas por aproximadamente 500 casas. Para cada vizinhança temos uma fibra ótica que parte da central até alcançar um nó (*fiber node*) numa determinada área e a partir deste nó saem cabos coaxiais onde cada cabo cobre um determinado

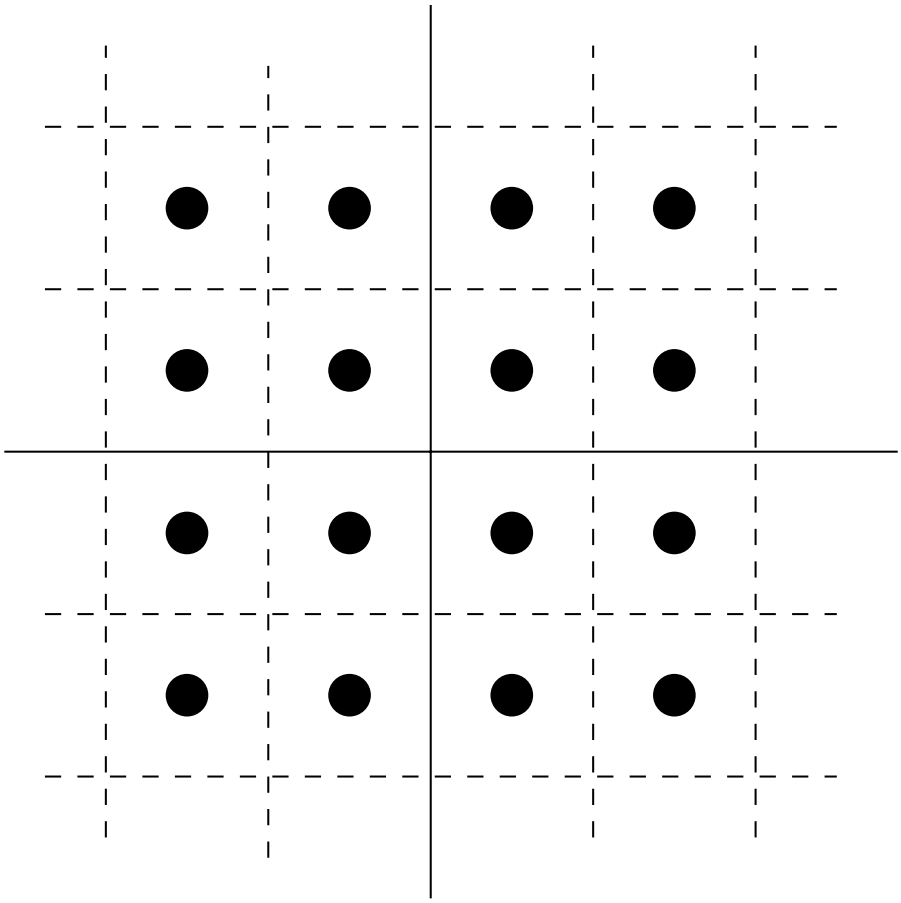

Figura 5.9: Constelação 16-QAM

conjunto de casas.

No esquema HFC o espectro de frequências é dividido abaixo de de 50 MHz (5 a 42 MHz) para o canal *upstream* e acima dos 50 MHz (50 a 450 MHz ou 50 a 750 MHz) para o canal *downstream*, este último separado em canais de 6 MHz cada. Em geral, a faixa entre 50-450 MHz é reservada para a difusão dos canais de TV analógicos e a parte acima dos 450 MHz é reservada para os serviços digitais. A modulação 64QAM permite taxas de 27 Mbps *downstream* para cada canal de 6 MHz e 2 Mbps *upstream*. Estes números indicam uma banda de 1 Gbps *downstream*.

A banda nas duas direções da arquitetura HFC é compartilhada por todos os assinantes. No caso, a banda mínima média corresponde à capacidade dividida pelo número de pico de usuários ativos. Supondo que numa vizinhança com 500 casas, 10% são assinantes e, dentre estes, 50% encontram-se ativos, a banda média no sentido *downstream*, supondo um único canal de 6 MHz, corresponderá a 1,1 Mbps. Caso a rede encontre-se sobrecarregada mais espectro pode ser alocado.

5.3.5 xDSL

xDSL relaciona-se a uma tecnologia de transmissão digital na linha do assinante que permite oferecer serviço faixa larga utilizando ao máximo a infra-estrutura de acesso existente baseada no fio de cobre da rede telefônica. O x representa várias tecnologias da mesma família (HDSL *High-Speed*, SDSL

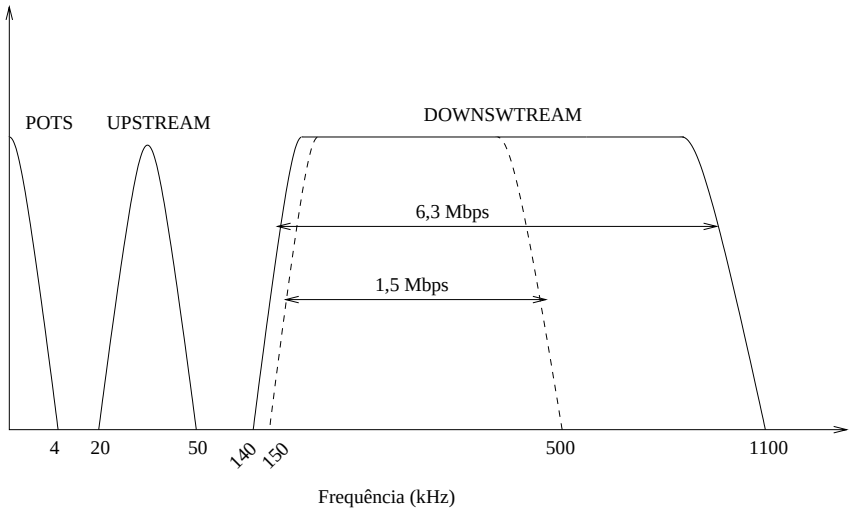

Figura 5.10: Faixas de frequência utilizadas no ADSL

Single-Line, ADSL *Asymmetric* e VDSL *Very-High-Speed*). A característica básica das técnicas xDSL consiste na utilização de modems de alta velocidade que aumentam significativamente a banda disponível no enlace de fio de cobre através de tecnologias de precessamento de sinais avançadas. Este aumento corresponde entre uma a duas vezes a ordem de magnitude da faixa de voz dos modems analógicos atuais que se encontra em 28.8 Kbps em ambas as direções.

A melhora na largura da banda fornecida pelas tecnologias xDSL comparativamente aos modems analógicos no canal de voz deve-se basicamente a três fatores:

1. Uso de um espectro de frequência muito mais amplo;
2. No caso do modem analógico os sinais são transportados fim-a-fim através da rede telefônica (figura x) enquanto que o xDSL é projetado para operar entre a central e o assinante conforme ilustrado na figura 5.12;
3. o xDSL utiliza técnicas avançadas de DSP (*Digital Signal Processing*) para processamento de sinais.

Outro aspecto relevante nas tecnologias xDSL é a possibilidade de suportar o serviço telefônico analógico atual no mesmo par trançado que o serviço de alta velocidade. Isto porque o transporte de dados de alta velocidade ocorre em uma faixa de frequência superior à faixa de 0-4 KHz utilizada pelo serviço de voz tradicional. O mesmo já não ocorre no caso do serviço ISDN que ocupa o espectro de 0-80 KHz o que demanda um par trançado separado para o serviço de telefonia analógico. Isto significa que os modems ADSL podem ser imediatamente instalados nas residências sem a necessidade de adicionar novas linhas telefônicas.

Outra característica importante nas tecnologias xDSL é a presença de uma função de adaptação que procura levar em conta as características do enlace utilizado. Esta função tem grande importância pelo fato de que as condições físicas e elétricas dos enlaces são muito variadas o que impossibilita o desenvolvimento de um modem que possa trabalhar com parâmetros rígidos ou configuráveis por um operador. O objetivo da adaptação realizada pelo par de modems é oferecer a maior banda possível respeitando os requisitos da taxa de erro de bit especificada. Esta funcção de

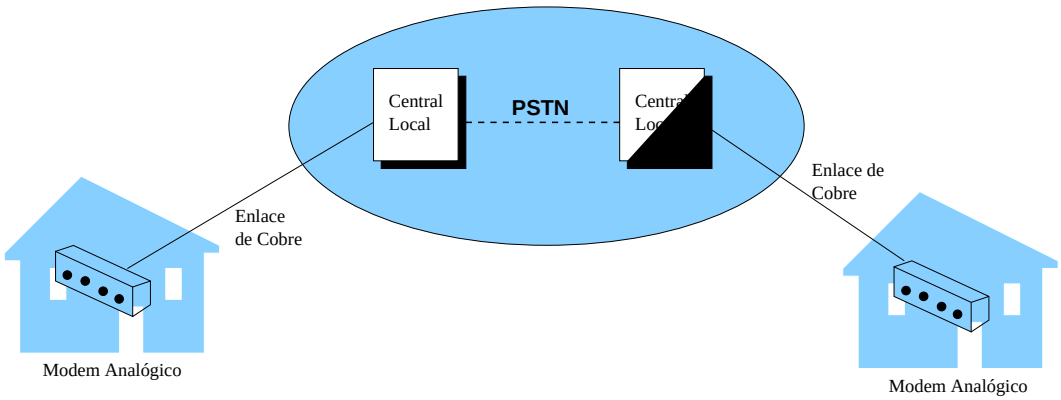

Figura 5.11: Os modems analógicos são terminados no destino

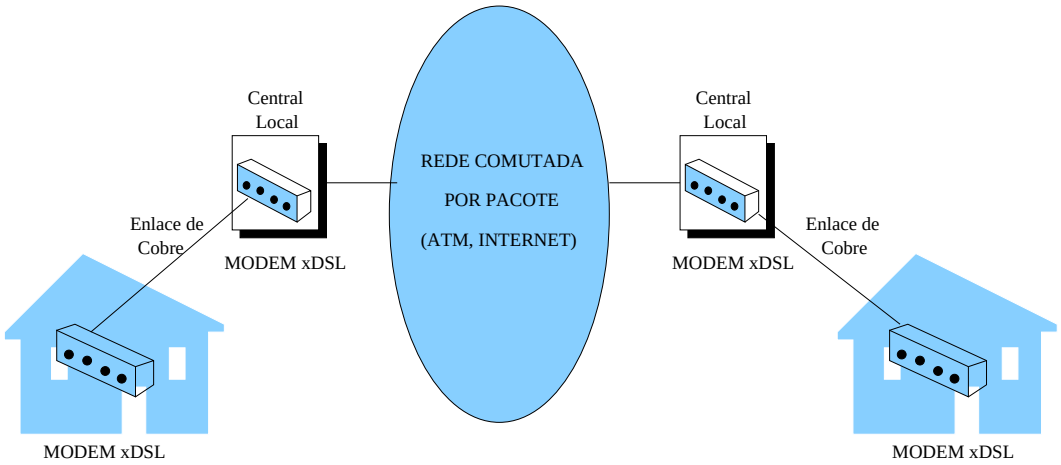

Figura 5.12: Os modems ADSL são terminados na central local (CO)

adaptação é realizada através de uma sequência de testes que ocorre no início da operação e depois repete-se periodicamente. Este tipo de função também é realizada pelos modems analógicos.

5.3.6 Família xDSL

A tabela x a seguir ilustra as várias tecnologias xDSL disponíveis e os respectivos atributos.
Tabela 13.1 Kwok

ADSL - *Asymmetrical Digital Subscriber Line*

Esta tecnologia utiliza técnicas mais avançadas de codificação e modulação no enlace entre a central telefônica e o assinante conforme mostrado na figura 5.12. A tecnologia ADSL foi concebida inicialmente como uma tecnologia *downstream* (fluxo da central para o assinante) e *upstream* (fluxo do assinante para a central), onde o fluxo *downstream* corresponde a um canal de 1,5 Mbit/s e um canal *upstream* que opera a 16 kbit/s.

A instalação do ADSL no enlace local não provoca qualquer distúrbio na infra-estrutura de

enlace existente. A figura X mostra que no assinante é colocado um equipamento separador (*splitter* para o sinal telefônico tradicional e uma unidade ADSL. A presença destas interfaces permite que o fio de cobre seja dividido em múltiplos canais: um canal de encaminhamento (*forward*) da central para o assinante (*downstream*) e um canal de retorno do assinante para a central (*upstream*). Conforme podemos observa na figura X.b o canal de retorno opera a uma frequência muito mais baixa do que o(s) canal(is) de encaminhamento levando a uma configuração assimétrica conforme explicitado no nome da tecnologia. Uma das vantagens neste caso é que a interferência entre os canais (*crosstalk*) não representa um problema como no caso das tecnologias simétricas e, por outro lado, adere à estrutura assimétrica de muitas aplicações atuais.

5.3.7 Novas Infra-Estruturas para a Rede de Acesso

FTTH, FTTC: FITL

Duas tecnologias que são também consideradas para o acesso local são denominadas de FTTH (*Fiber to the Home*) e FTTC (*Fiber to the Courb*) (figura x), ambas denominadas como FITL (*Fiber in the Loop*). A arquitetura FTTC propõe levar a fibra até um armário próximo ao assinante e do armário até a residência seria utilizado o fio de cobre tradicional. Por outro lado, a arquitetura FTTH propõe que a fibra seja levada até à residência do assinante o que oferece maior banda comparativamente à proposta anterior. Comparando-se as duas soluções existe pouco interesse na arquitetura FTTH porque acredita-se que ela não oferece uma melhor relação custo benefício do que a arquitetura FTTC.

HFC - *Hybrid/Fiber Coax*

Sistemas baseados na estrutura HFC têm sido implementados em vários países e a justificativa básica é que muitos acreditam que o ADSL implementado nos fios de cobre atuais não oferecerá a largura de banda necessária no futuro para suportar as novas aplicações. No caso do HFC o que se procura fazer é tirar proveito das altas capacidades de transmissão da fibra e do cabo coaxial.

A figura 5.13 ilustra o esquema básico do HFC formado por uma fibra interconectando a central com um nó nas proximidades de um conjunto de assinantes e estes ligados ao nó através de um cabo coaxial.

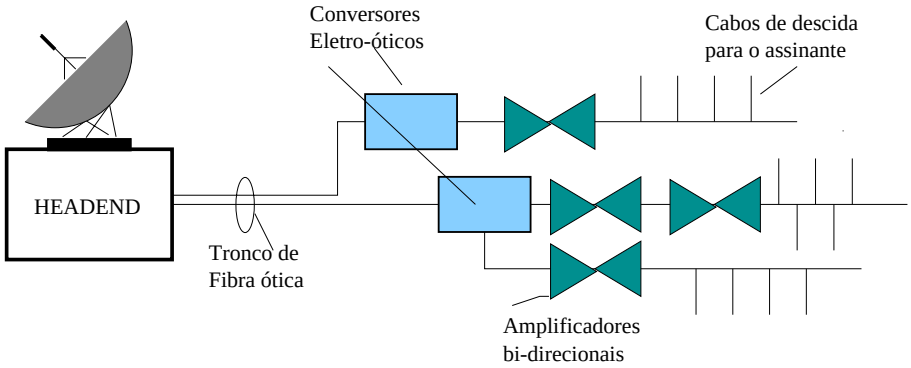

Figura 5.13: Arquitetura HFC

O esquema HFC permite balancear os custos de utilização da fibra e do cabo coaxial de modo a fornecer uma banda adequada para o tráfego multimídia através do suporte a serviços como:

telefonia, ISDN, difusão de vídeo analógico, vídeo interativo e transmissão de dados digitais full-duplex de alta velocidade.

5.3.8 A Arquitetura da Rede HFC - *Hybrid Fiber/Coax*

A motivação para o desenvolvimento da arquitetura HFC foi a de aproveitar a infra-estrutura de TV a cabo disponível em larga escala nos Estados Unidos para o suporte ao serviço de TV interativa e, recentemente, o acesso à Internet. Entretanto, para que este objetivo pudesse ser alcançado era necessário contornar as dificuldades associadas á tecnologia de TV a cabo disponível.

A rede de cabo atual tem se mostrado adequada para a transmissão de TV analógica mas possui problemas associados a itens como confiabilidade, qualidade do sinal e o suporte ao canal de retorno para permitir a comunicação em ambos os sentidos.

- Confiabilidade: vimos anteriormente que a rede possui um número significativo de amplificadores nos cabos troncos. Por exemplo, a falha em um amplificador compromete o envio dos sinais para todos os assinantes que se encontram abaixo (*downstream*). Um objetivo a ser perseguido é a redução do número de amplificadores o que aumentará a confiabilidade e redução dos custos;

- Qualidade do sinal: o número elevado de amplificadores introduz distorções no sinal analógico comprometendo a qualidade do sinal, qualidade que é ainda afetada pela degradação gradual da qualidade do cabo coaxial e pelo ruído;

- Caminho de retorno: a possibilidade de ter um caminho de retorno de modo a viabilizar aplicações interativas e o acesso á Internet.

A viabilidade da transmissão *upstream* na rede a cabo não depende somente da introdução de amplificadores de retorno. Existe um problema fundamental associado à capacidade disponível na rede para a comunicação *upstream* devido ao fato de tratar-se de um meio compartilhado. Nesta situação todos os assinantes conectados à rede têm que compartilhar o espectro *upstream*. Isto representa milhares de usuários compartilhando 37 MHz de banda (5-42 MHz), ou seja, a banda média disponível para cada assinante é limitada.

No caso da qualidade do sinal existe a agravante de que o ruído na direção *upstream* é muito pior do que na direção *downstream* devido à agregação do ruído gerado em cada assinante.

Todas as questões anteriores levaram a uma busca de uma arquitetura mais adequada aos novos serviços o que originou o esquema HFC. A arquitetura HFC aproveita as vantagens da transmissão na fibra ótica permitindo aumentar de modo significativo a banda disponível para cada assinante. Este aumento é obtido com o uso da transmissão digital e técnicas de modulação sofisticada que aumentam a capacidade das comunicações *upstream* e *downstream*.

5.3.9 Topologia HFC: Arquitetura do Nó

A implementação da arquitetura HFC se dá pela introdução do conceito de nó. Este conceito divide as resideências servidas pela rede de cabo em vizinhanças com aproximadamente 500 residências. A partir do *headend* saem fibras troncos que se estendem até alcançarem o nó (*fiber node*) respectivo. Cada nó possui entre 3 e 4 cabos coaxiais de alimentação onde cada um deles atende uma determinada vizinhança. A principal função do nó nesta arquitetura é a conversão eletro-ótica dos sinais entre a fibra tronco e os cabos coaxiais de alimentação. Cada um destes últimos é conectado a um conjunto de cabos coaxiais de descida (*drop*) onde cada um é conectado a uma residência. A

distaância típica entre o *headend* e o nó é em torno de 25 Km e a distância entre o nó e a residência é da ordem de 2 Km.

A arquitetura HFC reduz alguns dos problemas mencionados anteriormente com relação ao uso da rede de cabos tradicional para transmissão de dados. A arquitetura HFC aumenta a confiabilidade e a capacidade de transmissão *upstream*. A organização em áreas formadas por aproximadamente 500 casas reduz o impacto que uma falha pode causar atingindo somente a sua vizinhança. A confiabilidade é reforçada pelo uso da fibra e pela redução do número de amplificadores. A banda oferecidada a cada usuário também aumenta significativamente pois as comunicações *upstream* e *downstream* são compartilhadas por um número bem mais reduzido de assinantes o que também reduz o efeito do ruído agregado no sentido *upstream*.

5.3.10 Transmissão Digital

Para suportar serviços de difusão digital na rede de cabo é necessário o emprego da modulação digital no cabo. A técnica básica de modulação para a arquitetura HFC é a QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). 64QAM possibilita taxas de 27 Mbps de dado para o canal de 6 MHz. Esta taxa é obtida após o uso de deteção e correção de erro FEC (*Forward Error Code*) devido ao ruído da rede. A modulação 256QAM suportará 36 Mbps após a aplicação do FEC. Outra técncia de modulação utilizada é a VSB (*Vertigial Side Band*), por exemplo, 16VSB suporta 38 Mbps de dados do usuário. Como exemplo, podemos citar o fato de que filmes comprimidos com o algoritmo MPEG-2 demandam 3 Mbps, ou seja, um canal de 6 MHz poderá suportar, através da modulação 64QAM, um total de 9 filmes digitais ao invés de um único filme analógico. Os 60 canais disponíveis na faixa 50-450 Mhz podem suportar aproximadamente 500 canais.

5.3.11 Transmissão *Upstream*

Conforme discutido anteriormente a arquitetura HFC permitiu reduzir significativametne o ruído na rede. Entretanto, existe ainda a necessidade de amplificadores de retorno no cabo coaxial operando no espectro *upstream*, como também, *lasers* que operem na faixa de 5-42 MHz na direção do retorno na fibra tronco.

Uma questão fundamental diz ainda respeito ao compartilhamento da banda no sentido *upstream* apesar do número mais reduzido de assinantes em um mesmo cabo. Para controlar o acesso dos assinantes em cada vizinhança é necessário um protocolo de acesso ao meio (MAC). A definição deste protocolo é fundamental para otimizar a comunicação *upostream* e deve prover qualidadade de serviço e *multicast*. O comitê IEEE802.14 está especificando um protocolo que atenda estes requisitos.

5.3.12 Arquitetura HFC Comutada

A estrutura definida para o HFC na qual a partir do *headend* saem fibras troncos para atender as respectivas vizinhanças permite a implementação de serviços comutadas para cada vizinhança. Esta comutação é implementada no *headend* através de um comutador ou mesmo uma rede comutada como, por exemplo, o ATM (figura 5.14).

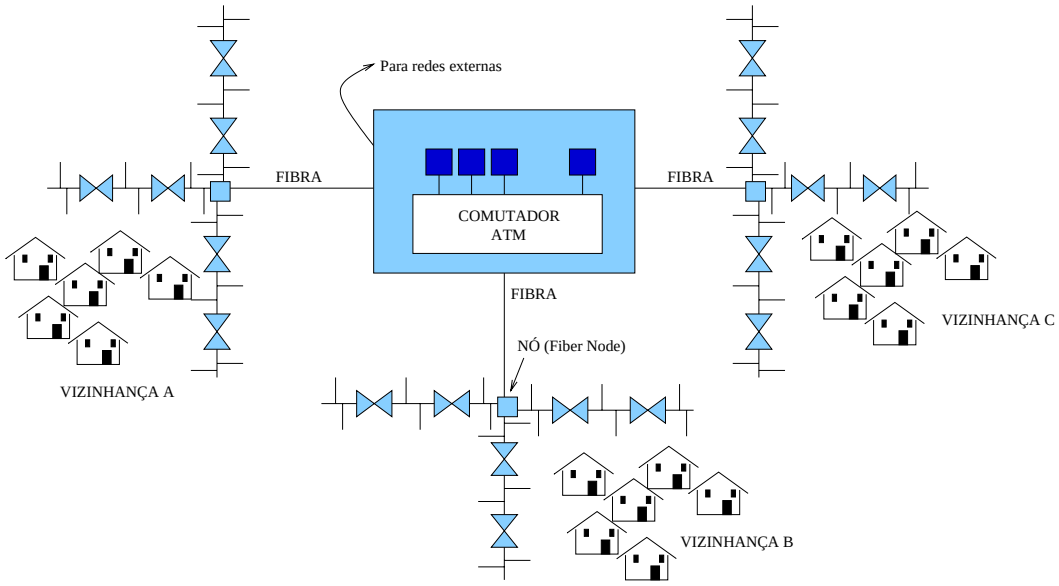

Figura 5.14: Arquitetura comutada de TV a cabo faixa larga

Capítulo 6

A Rede Internet como RDSI

6.1 Limitações

6.2 Integração Internet-ATM

6.3 Internet sobre ATM

Uma infraestrutura de chaves ATM, em geral denominada de nuvem ATM, deve ser entendida como um ambiente sobre o qual vários serviços serão oferecidos, serviços estes correspondendo ao tráfego de dados, vídeo e voz associados às aplicações dos usuários. Como forma de viabilizar a oferta dos serviços através desta nuvem ATM, a qual se espera formada por chaves de fabricantes diversos, há necessidade da padronização dos modelos de serviços para implementação nos equipamentos dos fabricantes. Esta demanda motivou os esforços de instituições e grupos como o ITU-T (International Telecommunication Union), ATM-Fórum e IETF (Internet Engineering Task Force) no desenvolvimento de padrões voltados para a utilização da tecnologia ATM como infraestrutura de interconexão de redes. Os serviços a serem oferecidos em uma rede ATM podem ser classificados como serviços voltados para a interconexão de redes de computadores para fins de troca de dados e serviços com características de fluxo contínuo, como no caso da transmissão de voz (PABXs) e de vídeo (CODECs). Estes serviços possuem características de tráfego distintas e, no entanto, devem ser suportados por uma mesma infraestrutura ATM.

Esta seção consiste no estudo dos modelos que estão sendo propostos para a interconexão de redes de computadores através de infra-estrutura ATM com ênfase nas redes TCP/IP. Estes modelos podem ser subdivididos nos modelos voltados para a interconexão de redes locais e modelos voltados para as redes de longa distância. No primeiro caso, temos como exemplos a emulação de LANs (Lan Emulation do ATM-Fórum), o IP- Clássico (IETF) e MPOA (Multiprotocol Over ATM, do ATM-Forum). No segundo caso, os modelos propostos para o suporte dos serviços Frame-Relay e SMDS/CBDS sobre ATM são os mais importantes. Como é comum nos processos de padronização, muitas vezes o mercado surge com soluções de fabricantes que tentam se impor como padrões de facto em reação às soluções, muitas vezes complexas, propostas pelos grupos de padronização. No caso da interconexão de redes de computadores através do ATM podemos destacar soluções do tipo IP-Switching (Ipsilon), Tag-Switching (Cisco), IP-Navigator (Cascade) e outras, que surgem como alternativas às soluções propostas pelo IETF e ATM-Fórum.

6.3.1 Modelos ATM para Interconexão de Redes

A justificativa do desenvolvimento de modelos ATM para interconexão das redes atualmente existentes, deve-se ao fato de que a utilização inicial reservada para a tecnologia ATM foi a de backbone de alta velocidade para suportar o tráfego de dados entre redes locais e no transporte de dados em redes de longa distância. Estes modelos podem ser classificados em dois tipos principais: modelo overlay e modelo peer, e diferenciam-se na forma como a nuvem ATM é vista pelos protocolos existentes, em especial, os protocolos da camada de rede (IP, IPX, etc.). Estes protocolos possuem uma estrutura de endereçamento própria e protocolos de roteamento associados.

Uma possibilidade no relacionamento dos protocolos da camada de rede com a rede ATM consiste, no caso desta última, na utilização do mesmo esquema de endereçamento utilizado pelo protocolo da camada de rede. Neste caso, equipamentos conectados à rede ATM seriam identificados com endereços da camada de rede, por exemplo através de endereços IP, os quais seriam utilizados também pela sinalização ATM. Este tipo de modelo denomina-se modelo peer. Uma outra possibilidade seria desacoplar a nuvem ATM de qualquer outro protocolo que venha a utilizar a rede ATM como rede de transporte. Isto implica em definir uma estrutura de endereçamento própria e protocolos de roteamento e sinalização para a rede ATM. No caso temos a coexistência de duas estruturas de endereçamento diferentes e, consequentemente, protocolos de roteamento e sinalização também diferentes, o que requer um mapeamento do endereço da camada superior (ex. endereço IP) em um endereço ATM na rede ATM. Este tipo de solução caracteriza o denominado

modelo overlay. A grande vantagem deste modelo consiste na independência entre os protocolos que utilizam a rede ATM e os protocolos desta última o que, do ponto de vista da engenharia de protocolos, é importante com relação à independência no desenvolvimento de protocolos. Desta maneira, a tecnologia ATM pode ser utilizada pelos provedores de serviço como um transporte multiserviço, já que a nuvem ATM não fica vinculada a qualquer protocolo da camada superior.

O esforço tanto do IETF como do ATM-Fórum consiste em privilegiar o modelo overlay através das soluções IP-Clássico, Emulação de LANs, MPOA, Frame-Relay e SMDS sobre ATM. Como consequência do modelo overlay o ATM-Forum propôs uma estrutura de endereço para o ATM, no caso de redes privadas, baseada no NSAP (Network Service Access Point) da ISO, e a definição de um protocolo para a NNI (Node-to- Node Interface) denominado P-NNI (Private-NNI), constituido de um protocolo de sinalização e um protocolo para roteamento da requisição de sinalização através da rede ATM. No caso das redes públicas é empregado o endereço E.164 e na interconexão através da NNI utiliza-se uma pilha de protocolos baseada na sinalização ITU-T B-ISUP e no protocolo de roteamento nível 3 ITU-T MTP. Estes protocolos são definidos na especificação B-ICI (Broadband Inter-Carrier Interface) do ATM Fórum.

6.3.2 Terminologia

Na discussão a seguir é importante estabelecer a terminologia a ser utilizada de modo a contribuir para uma melhor compreensão do texto. No caso de uma nuvem ATM um sistema intermediário deve ser entendido como uma chave ATM enquanto um sistema final (end-system) pode ser uma chave LAN, PC, estação de trabalho ou roteador. Este último é normalmente considerado nas redes tradicionais como um elemento intermediário no nível da camada de rede. Do ponto de vista do multicasting, ou seja, um mesmo pacote é encaminhado a múltiplos destinos, uma subrede pode naturalmente suportar esta facilidade como no caso das redes onde há compartilhamento de um meio comum como nas redes locais. Caso a subrede seja incapaz de encaminhar pacotes multicasting sem a utilização de servidores adicionais, a subrede é denominada de NBMA (Non-Broadcast Multiple Access).

6.4 O Modelo Overlay

Como discutido anteriormente, o modelo overlay caracteriza-se pela utilização de estruturas de endereçamento diferentes entre os protocolos superiores e a infra- estrutura ATM. No caso da camada de rede os protocolos IP, IPX, AppleTalk e DECnet possuem estruturas de endereçamento próprias. No caso do endereço IP, por exemplo, cada interface possui um endereço único do ponto de vista global cuja atribuição é controlada por uma entidade responsável pela atribuição de endereços. Esta característica de endereço único é a base dos protocolos de roteamento utilizados para o protocolo IP.

No caso do ATM, o ATM-Fórum especificou o protocolo PNNI onde o roteamento entre chavess ATM é uma das funções principais, consequentemente, o protocolo utiliza muitas das características dos protocolos de roteamento do nível de rede, em especial, dos protocolos baseados no estado do enlace como o OSPF (Open Short Path First) e IS-IS (Intermediate-System to Intermediate-System Routing).

A forma como o modelo overlay integra a nuvem ATM com os protocolos atualmente em operação permite visualizar a rede de transporte ATM como equivalente a uma estrutura do nível de enlace como, por exemplo, uma rede Ethernet. No caso desta última, o endereçamento da camada de enlace é baseado em endereços atribuidos à interface física. Em muitos sistemas este endereço

corresponde ao endereço MAC (Medium Access Cotrol) de 48 bits e implementado na interface de rede pelo fabricante a partir de um endereço administrado pelo IEEE. Consequentemente, o projetista de rede não possui controle sobre a alocação do endereço MAC, com exceção da rede DECnet que permite a redefinição de endereços MAC. Neste último caso, os endereços de rede DECnet podem ser derivados a partir dos endereços MAC definidos. Consequentemente, um dos problemas básicos no caso dos protocolos superiores, em especial dos protocolos de nível de rede, consiste no mapeamento do endereço de rede em um endereço do nível de enlace como forma de viabilizar a entrega da informação ao destinatário. A resolução em um endereço nível 2 (nível de enlace) dado um endereço nível 3 (nível de rede) é um processo realizado nas redes IP com facilidade de broadcasting através do protocolo ARP (Address Resolution Protocol). Em uma rede ATM a situação é um pouco mais complexa pelo fato desta ser uma rede NBMA, ou seja, uma rede sem mecanismos nativos de broadcast. Neste caso é necessário o emprego de servidores para resolução de endereços como teremos oportunidade de discutir nos itens a seguir onde serão apresentadas as propostas mais importantes que empregam o modelo overlay.

6.5 Modelo Clássico (IETF)

Os documentos básicos relativos ao Modelo Clássico são Classical IP and ARP over ATM [RFC 1577] e Classical IP and ARP over ATM update. Estas RFCs especificam a interação entre sistemas ATM (end-systems) através do encapsulamento dos dados conforme especificado no documento Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5 [RFC 1483] e o mecanismo de resolução de endereço IP no correspondente endereço ATM. A Figura 6.1 ilustra o contexto para utilização do Modelo Clássico. Inicialmente temos uma rede corporativa TCP/IP, caracterizada por um backbone baseado em rede Ethernet, Token-Ring ou FDDI e utilizado para interconexão de redes locais de departamentos através da utilização de roteadores. Cada rede departamental e o backbone são subredes IP.

Em um dado instante será necessário aumentar a capacidade do tráfego do backbone da figura 6.1, em função do aumento da carga nas subredes departamentais através do uso de novos serviços com caracteríticas multimídia e acesso aos servidores departamentais. Esta substituição do backbone ocorrerá através da utilização de uma nuvem ATM que possibilitará a conectividade em alto desempenho dos roteadores conectados às redes departamentais.

A utilização do IP-Clássico na estrutura representada pela figura 6.2 possui extensões ao modelo clássico original que permite o uso de soluções para o fornecimento de broadcasting/multicasting através de uma rede ATM, como também extensões ao roteamento ATM, este último baseado no protocolo NHRP (Next Hop Resolution Protocol). Estas extensões são fundamentais para proporcionar escalabilidade ao Modelo Clássico.

6.5.1 Encapsulamento Multiprotocolo sobre o ATM AAL5 (RFC 1483)

O IETF trabalhou primeiramente na definição de métodos que permitissem o transporte de múltiplos tipos de protocolos da camada de rede ou de enlace através de uma conexão AAL5 (ATM Adaptation Layer Type 5), e também na multiplexação de vários tipos de protocolos sobre uma mesma conexão. Dois métodos de encapsulamento para carregar tráfego de interconexão de rede sobre ATM AAL5 foram definidos na RFC 1483:

1. Encapsulamento LLC/SNAP: Neste método, múltiplos tipos de protocolos podem ser carregados através de uma única conexão virtual, com o tipo do pacote encapsulado identificado

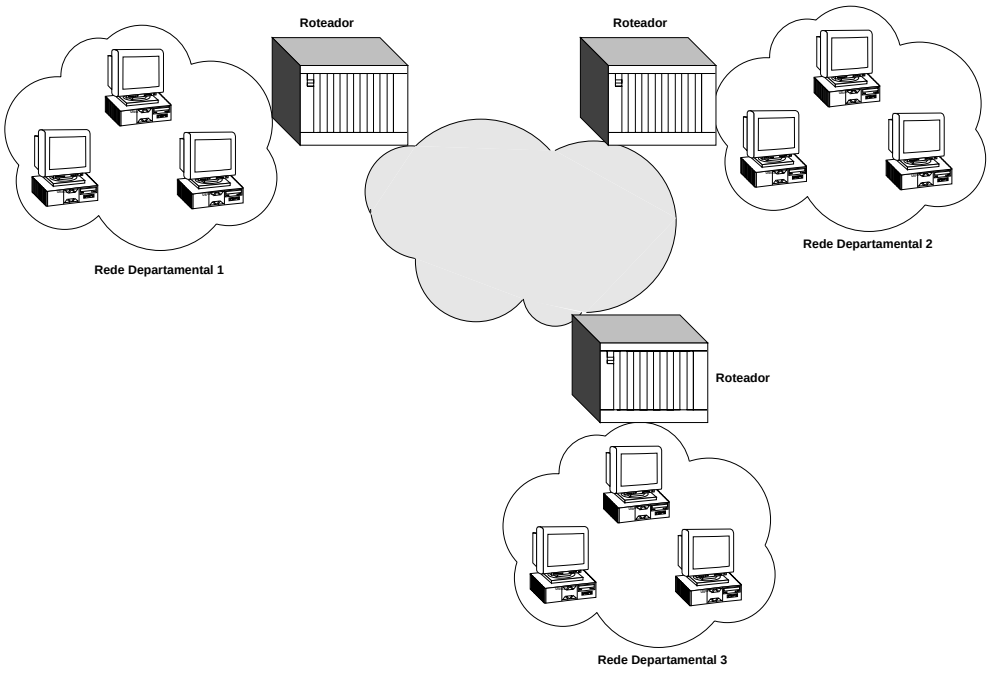

Figura 6.1: Exemplo de uma rede TCP/IP corporativa

por um cabeçalho IEEE 802.2 LLC/SNAP (Logical Link Control/SubNetwork Attachment Point). O método é semelhante ao utilizado pelo IEEE 802.2 e SMDS (Switched Multimegabit Data Service);

2. Multiplexação Baseada em VC: No método de multiplexação de conexão virtual (VC-Virtual Connection), apenas um protocolo é carregado através de uma conexão ATM, com o tipo do protocolo implicitamente identificado no estabelecimento da conexão[1].

Quando a RFC foi originalmente apresentada, estimava-se que o método baseado na multiplexação de conexão virtual seria mais comum nos ambientes locais onde a comutação de circuito fosse suportada (SVC-Switched Virtual Connection), pelo fato dos custos das conexões virtuais não serem uma questão relevante nestes ambientes. Por outro lado, esperava-se que a multiplexação baseada no encapsulamento LLC/SNAP fosse de maior interesse nos ambientes de longa distância, onde os custos associados aos canais virtuais são mais importantes. Na realidade, a maior parte das implementações nos ambientes locais ou de longa distância empregam o método de encapsulamento LLC/SNAP. A escolha do método de multiplexação pode ser implícito no caso das redes baseadas em canais virtuais permanentes (PVCs: Permanent Virtual Channels), ou configurado pelo gerenciamento da rede, ou através da sinalização no caso dos ambientes baseados em SVCs.

Seleção do Método de Multiplexação

O encapsulamento LLC/SNAP é o método de encapsulamento mais utilizado nos protocolos IP sobre ATM. O ITU-T e o grupo de trabalho ATM Forum Multiprotocol Over ATM estão utilizando este método como padrão para o transporte de multiprotocolos sobre ATM.

[1]Como resultado, nenhum campo de multiplexação ou de tipo de pacote é necessário.

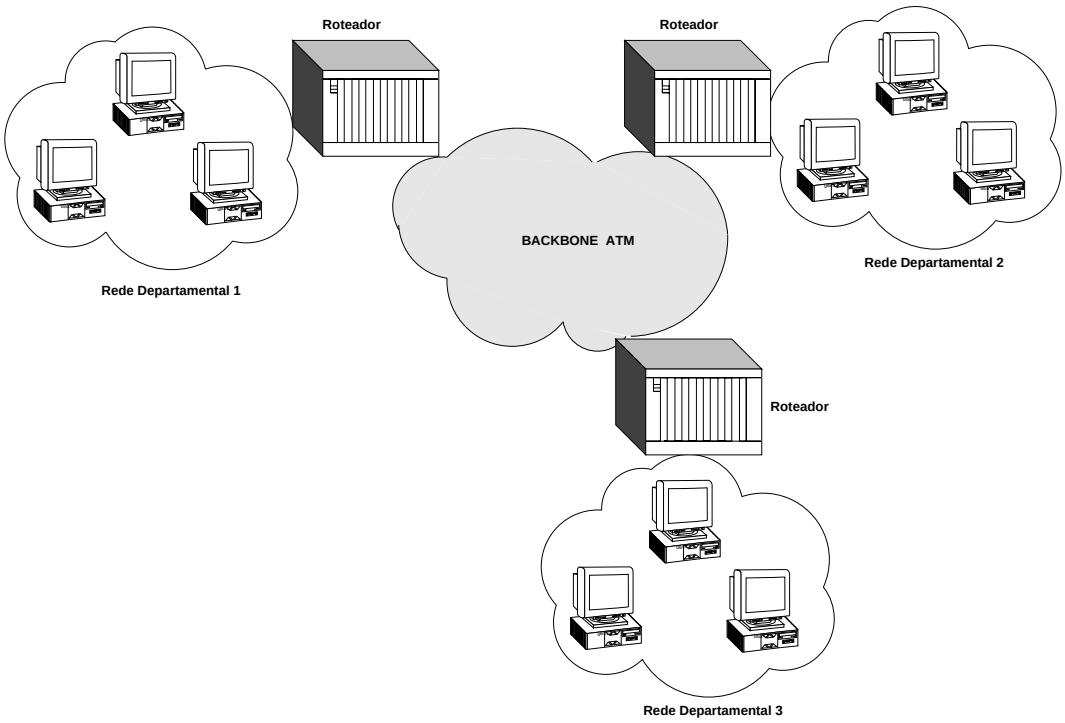

Figura 6.2: Rede Corporativa com Backbone ATM

Este método de encapsulamento é utilizado quando vários protocolos operam sobre o mesmo VC. Para permitir ao receptor processar adequadamente o AAL5 CPCS-PDU (Common Part Convergence Sublayer-Packet Data Unit), o campo de dados (Payload Field) do CPCS-PDU deve conter informações necessárias para identificar o protocolo da PDU roteada. No Encapsulamento LLC/SNAP o protocolo da PDU roteada é identificado por um cabeçalho IEEE 802.2 LLC seguido de um cabeçalho SNAP. O cabeçalho LLC é composto de 3 octetos, e o cabeçalho SNAP é composto de 5 octetos. A figura 6.3 ilustra o encapsulamento LLC/SNAP para o protocolo IP. LLC de valor 0xAA-AA-03 indica a presença de um cabeçalho SNAP, que é composto dos campos OUI (Organizationally Unique Identifier) e PID (Protocol IDentifier). OUI igual a 0x00-00-00 indica que o tipo de protocolo (PID) é um Ethertype. Ethertype igual a 0x08-00 indica tratar-se de uma PDU IP.

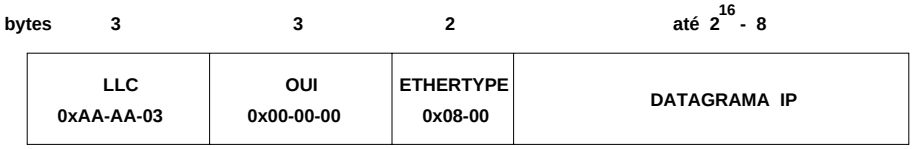

Figura 6.3: Encapsulamento LLC/SNAP para protocolo IP

A figura 6.4 mostra um exemplo de encapsulamento de um datagrama IP em um CPCS-PDU da camada de adaptação AAL5, e a transmissão em células ATM. Inicialmente o transmissor estabelece um SVC (Switched Virtual Circuit) ou um PVC (Permanent Virtual Circuit) através da rede ATM com o host de destino, e especifica que o circuito deve utilizar a AAL5. Quando do envio do

datagrama este é então passado para a camadade de adaptação AAL5. A AAL5 gera um fecho no final do CPCS-PDU payload, divide o datagrama em células e transfere as células através da rede. No receptor, a AAL5 remonta o datagrama, usa a informação no fecho para verificar se algum bit foi perdido ou corrompido, e passa o datagrama encapsulado na PDU da AAL5 para a máquina de protocolo IP.

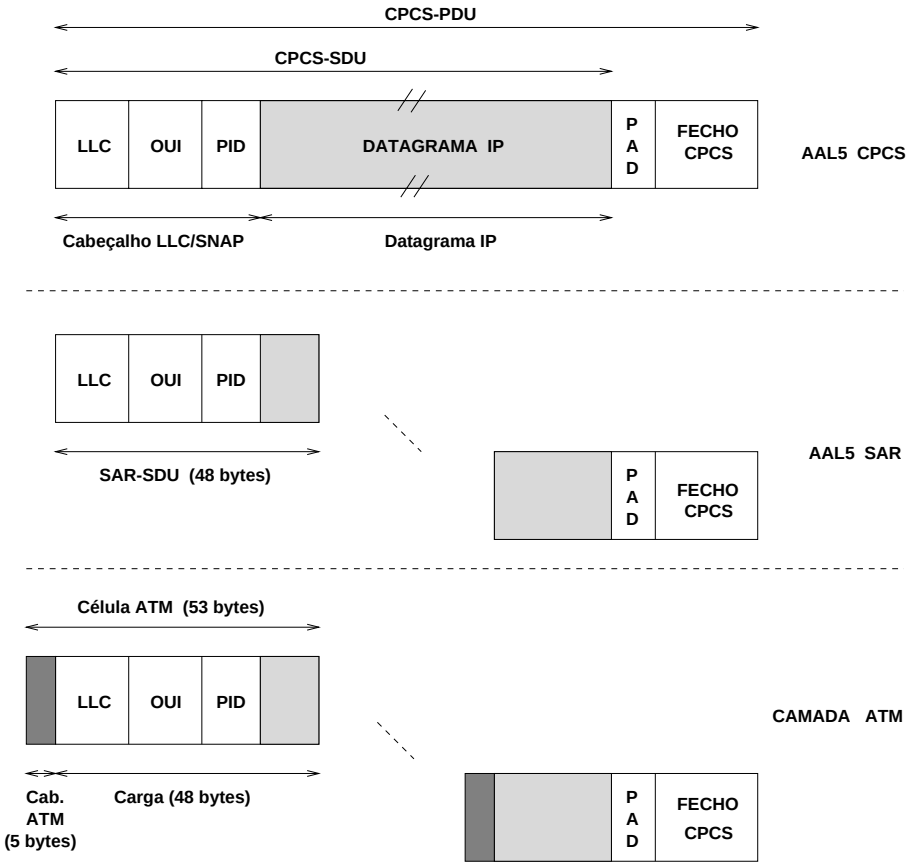

Figura 6.4: Transmissão de um datagrama IP sobre a AAL5 utilizando encapsulamento LLC/SNAP

No caso da multiplexação baseada em VC, o protocolo de interconexão de rede carregado é identificado implicitamente pela conexão VC entre duas estações ATM. Não há portanto a necessidade de incluir campos de informação de multiplexação junto à carga da AAL5 CPCS-PDU.

Unidade Máxima de Transferência (MTU) do IP sobre a AAL5

Várias aplicações sobre TCP (Transmition Control Protocol) indicam o tamanho da unidade máxima de transmissão (MTU-Maximum Transmission Unity) para o IP (Internet Protocol) visando melhor desempenho. Como a fragmentação de datagramas IP é tida como altamente indesejável, o tamanho máximo da unidade de transmissão (MTU) para IP sobre ATM AAL5 deve ser razoavelmente grande. A [RFC 1209] especifica a MTU do IP sobre SMDS como 9180 octetos, e como não existe uma boa razão para este valor não ser utilizado como default da MTU para IP sobre ATM, este foi também adotado, de acordo com a [RFC 1626]. O uso do mesmo valor para ATM e SMDS tem como objetivo facilitar a interoperabilidade entre estes serviços. Quando um datagrama IP é

maior que a MTU da rede, o protocolo IP fragmenta o datagrama e passa cada fragmento para a AAL5. Embora a camada AAL5 suporte CPCS-PDU Payloads de até 64K octetos, não existe nenhuma restrição utilizar-se valores menores, como 9180 octetos.

Implentações que apenas suportam PVCs não utilizam nenhum protocolo de sinalização ATM, e portanto utilizam a MTU default de 9180 octetos, a menos que ambas as partes da conexão estejam de acordo com outros valores. Implementações que suportam SVCs podem negociar o tamanho da AAL CPCS- PDU utilizando um protocolo de sinalização ATM. O protocolo de sinalização ATM usa duas diferentes partes de um IE (Information Element) chamado parâmetros AAL para trocar informações da MTU sobre o circuito ATM que está sendo estabelecido. Um campo Forward Maximum CPCS-PDU size contém o tamanho do MTU no sentido direto, e um campo Backward Maximum CPCS-PDU size contem o tamanho do MTU no sentido reverso.

6.5.2 Resolução de Endereço

O outro aspecto importante no modelo overlay, além da solução para o encapsulamento multiprotocolo em uma rede multiserviço, diz respeito à resolução de endereços pois temos duas estruturas de endereçamento que precisam ser relacionadas. No caso do IP-Clássico a nuvem ATM pode ser constituida de uma LIS (Logical IP Subnet) ou múltiplas LISs. O conceito de LIS assemelha-se à forma como o IP enxerga uma subrede, ou seja, uma LIS corresponde a um conjunto de endereços de hosts resumidos em um prefixo de subrede. O IP-Clássico requer a utilização de roteador para a interação de membros de LISs diferentes, o emprego do encapsulamento LLC/SNAP como definido na RFC 1483 e limita o tamanho máximo de quadro em 9180 bytes. Deve ser observado que mesmo sendo possível a comunicação através de VCC entre dois hosts em LISs diferentes conectados através da nuvem ATM, o Modelo Clássico não permite esta interação direta.

Para realizar o transporte do pacote IP na rede ATM, um mecanismo deve ser usado para fazer a resolução dos endereços IP em endereços correspondentes ATM. Por exemplo, considere o caso de dois roteadores conectados através de uma rede ATM. Se um dos roteadores recebe um pacote através de uma interface LAN (Local Area Network), primeiramente ele verificará sua tabela de roteamento para determinar através de qual porta, e para qual roteador, ele deverá enviar o pacote. Se esta verificação indicar que o pacote deve ser enviado através de uma interface ATM, o roteador então precisa de um mecanismo que permita determinar o endereço ATM do roteador destino. O encapsulamento de um datagrama para transmissão através de uma rede ATM é de certa forma simples, porém a resolução de endereços IP em endereços ATM pode ser bastante díficil. Ao contrário de outras tecnologias, o ATM designa para cada computador conectado à rede um endereço ATM que deve ser utilizado quando se estabelece um circuito virtual. Por outro lado, como um endereço ATM é maior que um endereço IP, um endereço ATM não pode ser codificado dentro de um endereço IP, o que dificulta o relacionamento entre as duas estruturas de endereçamento. Por outro lado, o hardware ATM não suporta broadcast. Assim, o IP não pode usar o ARP convencional para fazer a resolução de endereços em redes ATM.

As conexões virtuais permanentes ATM (PVCs) complicam ainda mais a resolução de endereços IP. Uma vez que o gerente da rede deve configurar cada PVC manualmente, um host apenas conhece o par de identificadores de circuito VPI/VCI. Uma aplicação no host pode não conhecer o endereço IP ou o endereço ATM do destino. Desta forma, um mecanismo de resolução de endereços IP em rede ATM deve prover a identificação de um computador remoto conectado a um PVC, bem como a criação dinâmica de SVCs para destinos correspondentes a endereços ATM conhecidos.

Como o ATM é uma tecnologia orientada a conexão há a necessidade de dois níveis de resolução envolvendo endereços e conexões virtuais. Primeiro, quando se cria uma conexão virtual sobre a

qual os datagramas serão enviados, o endereço IP do destino deve ser mapeado para o endereço do dispositivo conectado na rede ATM. De posse deste endereço é possível criar-se um circuito virtual. Segundo, quando se envia um datagrama para um computador remoto sobre um circuito virtual existente, o endereço de destino IP deve ser mapeado para o par VPI/VCI do circuito. A segunda ligação é usada cada vez que um datagrama é enviado sobre uma rede ATM. A primeira ligação é necessária apenas quando o host cria um SVC com o destino. O grupo de trabalho do IP sobre ATM do IETF definiu um protocolo para suporte de resolução automática de endereços IP na [RFC 1577]. Este protocolo é conhecido como *Classical IP over ATM* e introduz a noção de subrede lógica IP ou LIS (Logical IP Subnet) conforme discutido anteriormente.

6.6 O Protocolo IP-Clássico sobre ATM

O propósito da RFC 1577 é permitir implementações compatíveis e interoperáveis para a transmissão de datagramas IP, requisições e respostas ATM Address Resolution Protocol (ATMARP) sobre a camada de adaptação ATM AAL5. protocolo IP-Clássico foi proposto para uma situação onde um grupo de computadores usa uma rede ATM em lugar de uma rede local. Este grupo forma uma sub-rede lógica IP ou LIS (Logical IP Subnet).

Múltiplas redes lógicas IP podem ser definidas ao longo de um conjunto de computadores que estejam conectados na mesma rede ATM. A figura 6.5 ilustra oito computadores conectados a uma rede ATM e divididos em duas LISs.

Todos os computadores estão conectados na mesma rede ATM. Os computadores A, C, D, E e F participam da LIS 1, enquanto os computadores B, F, G e H participam da LIS 2. Cada LIS funciona como uma LAN separada. Os computadores participando de uma LIS podem estabelecer circuitos virtuais entre eles para troca de datagramas. Como uma LIS forma conceitualmente um rede separada os computadores em uma mesma LIS compartilham um mesmo prefixo de subrede IP, e este prefixo difere daquele utilizado por outras subredes lógicas IP. Embora os computadores de uma LIS possam escolher uma MTU não padronizado, todos os computadores devem usar a mesma MTU em todos os circuitos virtuais que fazem parte da LIS.

Conforme mencionado anteriormente, um host em uma LIS não pode se conectar diretamente com um host em outra LIS. Em vez disto, todas as comunicações entre sub-redes lógicas IP devem ser feitas através de um roteador que participa de múltiplas sub-redes lógicas conforme no caso do roteador mostrado na Figura 5, o qual participa das duas subredes lógicas do exemplo através de uma mesma interface ATM. Os endereços ATM da estação e do servidor ATMARP devem ser configurados em cada estação IP conectada à rede ATM. Em um ambiente SVC, as requisições ATMARP são enviadas para esse endereço e a conversão do endereço destino IP em endereço ATM é realizada por um servidor. Este servidor deve atender requisições ATMARP de todos os membros IP dentro de uma LIS.

Roteadores que desejam suportar a interconexão de várias LISs devem ser capazes de suportar múltiplos conjuntos de parâmetros e associar cada conjunto de parâmetros a um número de rede/sub-rede IP específico. Recomenda-se ainda que o roteador ofereça este suporte para múltiplas LISs com uma única interface ATM física, que pode ter um ou mais endereços ATM finais (ATM Endpoint Address).

6.6.1 ATMARP

A resolução de endereço dentro de uma sub-rede lógica IP faz uso de um protocolo de resolução de endereço ATM (ATM Address Resolution Protocol - ATMARP), bem como do protocolo de

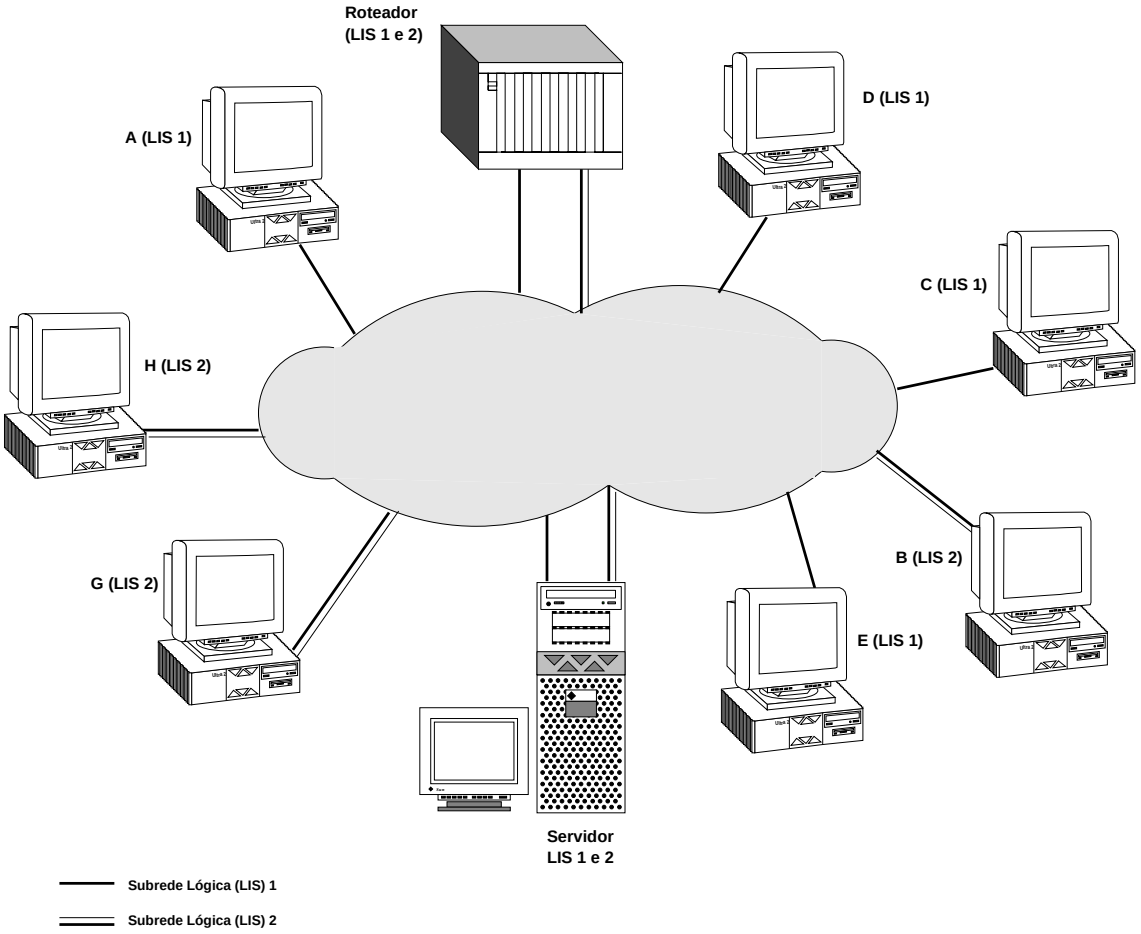

Figura 6.5: Exemplo do IP Clássico sobre ATM

resolução de endereço ATM inverso (InATMARP). ATMARP é o mesmo protocolo ARP [RFC 826] com as extensões necessárias para suportar ARP em um ambiente de servidor ATM unicast. InATMARP é o mesmo protocolo original InARP, só que aplicado a redes ATM.

Como no ARP convencional, o transmissor forma uma requisição que inclui o seu endereço IP e o seu endereço ATM, bem como o endereço IP do destinatário cujo endereço ATM quer determinar. O transmissor envia então a requisição para o servidor ATMARP da sub-rede lógica. Se o servidor conhece o endereço ATM do destino, ele envia uma resposta ATMARP. Caso contrário, ele envia um resposta negativa ATMARP. A resolução de endereços IP em sistemas orientados à conexão é um pouco mais complexo do que em ambientes não orientados à conexão. Como a nuvem ATM pode suportar os dois tipos de circuitos virtuais (PVC e SVC), dois casos devem ser abordados. Inicialmente consideraremos o caso de circuitos virtuais permanentes, em seguida será discutido o caso envolvendo circuitos virtuais comutados.

Utilizando Circuitos Virtuais Permanentes (PVCs)

Para entender que problemas os PVCs introduzem, lembramo-nos de como o hardware ATM trabalha. O administrador da rede deve configurar cada PVC; os hosts por si próprios não estabelecem tais conexões. Um host inicia a sua operação com os PVCs já configurados e não recebe qualquer

informação de seu hardware ATM a respeito do endereço de algum ponto remoto. Assim, a menos que a informação de endereçamento tenha sido configurada em cada host (por exemplo, armazenada em disco), os hosts não sabem o endereço IP ou ATM do computador que é conectado via um PVC.

O protocolo InATMARP resolve o problema de encontrar endereços quando se usa PVCs. Para usar o protocolo a estação deve conhecer cada um dos PVCs que foram configurados. Para determinar o endereço IP e ATM de um ponto remoto, o computador deve mandar um pacote de requisição InATMARP com o campo OPERATION contendo o valor 8. Sempre que tal requisição é recebida em um PVC, o receptor gera uma resposta InATMARP com o campo OPERATION contendo o valor 9. Tanto a requisição como a resposta InATMARP contém o endereço IP e ATM do transmissor. Assim, o computador em um dos extremo da conexão aprende a ligação para o computador no outro extremo da conexão. Em síntese, dois computadores que se comunicam via um PVC usam o InATMARP para descobrir seus endereços IP e ATM.

Utilizando Circuitos Virtuais Comutados (SVCs)

Dentro de uma LIS, computadores criam circuitos virtuais comutados sob demanda. Quando um computador A necessita enviar um datagrama para um computador B e nenhum circuito virtual existe para B, o computador A deve utilizar a sinalização ATM para criar o circuito virtual necessário. Cada LIS tem um servidor ATMARP e todos os computadores de uma LIS devem ser configurados tal que eles saibam encontrar o seu servidor (por exemplo, um computador pode ter um PVC para o servidor ou pode ter o endereço ATM do servidor armazenado em disco). Um servidor não forma conexões para outros computadores, ele simplesmente espera por um contato dos computadores de uma LIS. O servidor ATMARP, antes de completar a conexão de um novo SVC deve especificar o encapsulamento utilizado como sendo o LLC/SNAP.

Para mapear o endereço IP do computador B em um endereço ATM, o computador A deve ter um circuito virtual aberto para o servidor ATMARP da sua LIS. O computador A forma um pacote de requisição ATMARP e envia-o ao servidor através da conexão estabelecida. O campo OPERATION do pacote contém o valor 1 e o endereço de destino do pacote contém o endereço IP do computador B.

Um servidor ATMARP mantém uma base de dados dos mapeamentos IP para ATM já realizados. Se o servidor conhece o endereço ATM do computador B, o protocolo ATMARP opera de maneira similar a um proxy ARP. O servidor forma uma resposta ATMARP com o campo OPERATION indicando o valor 2 e preenchendo o campo de endereço destino ATM com o endereço ATM da estação B. Se o servidor não conhece o endereço ATM que corresponde ao endereço destino IP, o ATMARP difere do ARP convencional. Ao invés de ignorar a requisição, o servidor envia um pacote de negative acknowledgement (um pacote ATMARP com o campo OPERATION igual a 10). O negative acknowledgement serve para distinguir entre um endereço IP não conhecido e um mal funcionamento do servidor. Assim, quando um host envia uma requisição ao servidor ATMARP, três situações podem ocorrer: O host pode receber o endereço ATM do destino, o destino não está atualmente disponível na LIS ou o servidor não está respondendo à requisição. Um servidor ATMARP pode ser capaz de servir a diversas LISs. Neste caso ele deve receber um endereço IP referente a cada LIS para a qual ele atue como servidor ATMARP.

Características Operacionais do Cliente ATMARP

O cliente de um servidor ATMARP é responsável por contatar o servidor a fim de registrar sua própria informação ATMARP, consultar e atualizar a sua informação referente a outros membros

IP. Isto indica que os clientes ATMARP devem ser configurados com o endereço ATM do servidor ATMARP. Além disto os clientes ATMARP devem:

- iniciar a conexão VC para o servidor ATMARP a fim de transmitir e receber pacotes ATMARP e InATMARP;
- responder a pacotes de requisições InARP_REQUEST;
- gerar e transmitir pacotes de requisição ARP_REQUEST para o servidor ATMARP e processar pacotes ARP_REPLY e ARP_NAK do servidor apropriadamente. Os pacotes ARP_REPLY podem ser utilizados para construir/destruir informações sobre o cliente na tabela ATMARP;
- Gerar e transmitir pacotes InARP_REQUEST quando necessário e processar pacotes InARP_REPLY apropriadamente. Os pacotes InARP_REPLY podem ser utilizados para construir/destruir informações sobre o cliente na tabela ATMARP.

6.6.2 Considerações Finais

A operação do Modelo Clássico IP é muito simples, o que leva a muitas limitações. Uma destas limitações esta indicada pela palavra *clássico*. O que isto quer dizer é que o Modelo Clássico não possibilita que um pacote com destino externo a uma sub-rede IP seja enviado diretamente ao seu destino, sem precisar passar por um roteador default. Esta limitação gera ineficiência na rede, uma vez que o roteador torna-se um gargalo para a rede. Isto também impossibilita que uma conexão com um QoS pré-determinado seja estabelecida entre dois nós.

Um grupo de trabalho do IETF denominado ROLC (Routing Over Large Clouds) está trabalhando no protocolo NHRP, que permite a conexão direta entre hosts de diferentes LISs através de um meio NBMA, como é o caso do ATM. Outra limitação do Modelo Clássico é que ele não se preocupa com a questão da latência do estabelecimento de conexões virtuais, ao contrário do protocolo LAN Emulation, que tem um caminho default por onde os dados podem ser enviados até que a resolução de endereço, roteamento e estabelecimento de conexão sejam efetivadas.

O Modelo Clássico IP também não suporta Multicast. O protocolo Classical IP over ATM pode ser utilizado para resolver um endereço multicast IP para um endereço ATM. Porém não existe um mecanismo dentro de uma LIS para registro de um membro em um grupo multicast, ou como um endereço de grupo multicast pode ser mapeado para formar um multicast ATM. Em síntese, o Modelo Clássico IP fornece uma solução bastante simples de interoperabilidade com redes ATM através do protocolo da camada de rede IP. Outras soluções mais elaboradas de interoperabilidade estão sendo investigadas pelo Fórum ATM e pela IETF. Entre elas o MPOA (MultProtocol Over ATM), que elimina muitas, senão a maioria das limitações do Modelo Clássico IP, permitindo o estabelecimento de conexões diretas através da rede ATM entre dois clientes de duas sub-redes (camada 3) diferentes. No âmbito do IETF, o grupo Multiprotocol Label Switching (MPLS) está trabalhando numa arquitetura baseada em comutação por *labels* com o mesmo objetivo de permitir uma integração TCP/IP-ATM menos limitada e mais escalável.

6.7 Emulação de LANs Sobre ATM (LAN Emulation)

O objetivo essencial do serviço de LAN Emulation (LANE) na forma proposta pelo ATM-Fórum consiste na introdução do ATM preservando todo o investimento já realizado no caso das redes locais. O requisito básico é que os protocolos atuais que executam no nível de rede não tenham que sofrer qualquer alteração caso executem em uma rede Ethernet ou Token-Ring, ou caso executem sobre uma infraestrutura caracterizada por uma nuvem ATM.

Vários modelos são possíveis para a realização da emulação de LAN. No caso mais simples pode-se utilizar um servidor com uma conexão ponto-multiponto para todos os membros da LAN emulada. Quando um membro da LAN deseja enviar uma mensagem, ele a envia para o servidor que, em resposta, envia a mensagem para todos os membros da LANE. Este modelo impõe um overhead substancial no sistema por não utilizar a característica do ATM de levar o tráfego diretamente da máquina de envio para a máquina destino através da nuvem de chaves ATM.

A especificação atual da LAN Emulation proposta pelo ATM Fórum fornece uma solução genérica que permite a realização das funções de ponte e roteamento (bridging and routing), e tenta conservar a maioria do tráfego da rede em conexões ponto-a-ponto entre a máquina de envio e a máquina receptora. A dificuldade maior em oferecer um serviço de emulação de LAN sobre uma infraestrutura ATM consiste no fato de que as redes locais tradicionais e a tecnologia ATM possuem diferenças marcantes. Desta forma, há a necessidade de introduzir uma funcionalidade acima da camada de adaptação ATM que crie para os protocolos do nível de rede uma interface compatível com as interfaces atualmente suportadas pelas redes locais (ODI[2], NDIS[3]).

Uma diferença essencial é que as LANs são não orientadas à conexão, enquanto as redes ATM suportam serviços orientados à conexão. Deste modo, a mais importante função de um serviço de emulação de LAN é a provisão de um serviço não orientado à conexão. Além dos endereços MAC unicast identificando destinações únicas, o serviço de emulação de LAN tem que suportar o uso de broadcast e endereços MAC de grupo (multicast), porque broadcast e multicast são características nativas de meios compartilhados em LANs. Entretanto, o fornecimento de tal serviço sobre uma rede baseada em chaves com enlaces ponto-a-ponto como a rede ATM não é trivial.

Outra diferença importante entre as LANs existentes e as redes ATM é o tamanho das Unidades de Dados de Protocolo (Protocol Data Units - PDUs) usados para troca de informações. Enquanto as LANs usam quadros (ou mensagens) com tamanhos variáveis, o ATM é uma tecnologia baseada em quadros com tamanho fixo de 53 bytes (células) e, conseqüentemente, um quadro LAN usualmente não se encaixa numa célula ATM e tem que ser segmentado de forma semelhante à segmenteção do pacote em células no caso do IP-Clássico.

Como os produtos e serviços na linha do ATM estão se tornando largamente disponíveis, os profissionais da área estão procurando maneiras de obter os benefícios proporcionados pela alta velocidade e alta capacidade ATM, enquanto preservam elementos da infra-estrutura de rede existente. A especificação LANE do ATM Fórum define mecanismos que permitem às redes ATM coexistirem com sistemas mais antigos fornecendo um caminho de migração escalonável para ATM. O conceito de uma Camada de Emulação de Rede Local (LAN Emulation Layer) é introduzido em sistemas terminais que interfaceiam entre a LAN tradicional e o novo meio ATM. Isto permite ao usuário continuar a utilizar o hardware disponível enquanto migra para a nova arquitetura. A interface LUNI (LAN Emulation User-to-Network Interface) permite a interoperabilidade entre os vários equipamentos que compõem a LAN emulada, basicamente, os clientes e os servidores LANE. A versão 1.0 da LANE define o modo padrão para um cliente resolver endereços MAC em endereços

[2]Open Data Link Interface.
[3]Network Driver Interface Specification

ATM e comunicar-se com outros clientes para envio de dados através da rede ATM. A versão especifica como o cliente LAN Emulation Client (LEC) interage com o LAN Emulation Server (LES) através da User-to-Network Interface (UNI). A versão LANE 2.0, já padronizada, define protocolos entre servidores para permitir que servidores de diferentes fabricantes interoperem aumentando a escalonabilidade e robustez da LANE, além de tentar contornar algumas restrições presentes na versão 1.0.

6.7.1 Visão Geral da Arquitetura

Uma LAN emulada (ELAN: Emulated LAN) suporta a comunicação de quadros de dados de usuário similar a uma LAN física convencional. Uma ou mais LANs emuladas podem estar na mesma rede ATM. Entretanto, cada uma das LANs emuladas são independentes umas das outras e as estações não podem se comunicar diretamente através dos limites das LANs emuladas. A comunicação entre LANs emuladas é possível somente através de roteadores (figura 6.6).

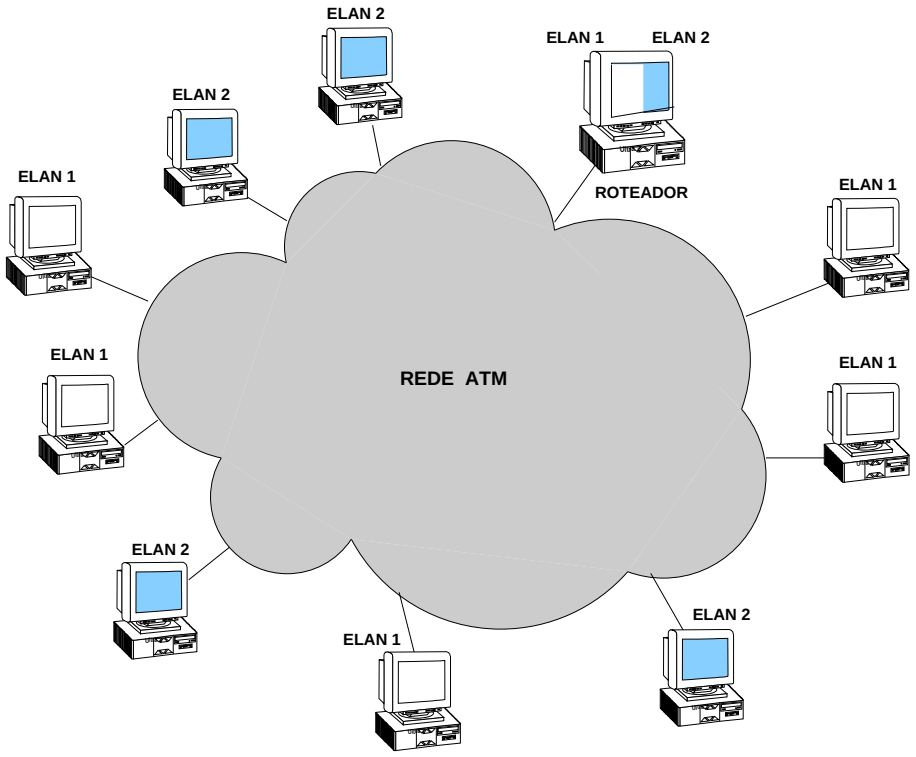

Figura 6.6: Interconexão entre diferentes LANs emuladas (ELANs) através de roteador

Uma LAN emulada pode ser do tipo Ethernet/IEEE 802.3 ou IEEE 802.5 (Token Ring). No cenário 1, figura 6.7, a rede ATM interconecta-se a múltiplos segmentos Ethernet e estações ATM (ATM attached end-systems). Neste cenário são possíveis as seguintes interconexões: estação ATM para estação ATM, estação Ethernet para estação ATM e estação Ethernet para estação Ethernet. No cenário 2, figura 6.8, uma rede ATM interconecta-se a múltiplas redes Token Ring com as seguintes opções: estação ATM para estação ATM, estação Token Ring para estação ATM e estação Token Ring para estação Token Ring.

Cada LAN emulada é composta por um conjunto de Clientes LANE (LECs-Lan Emulation

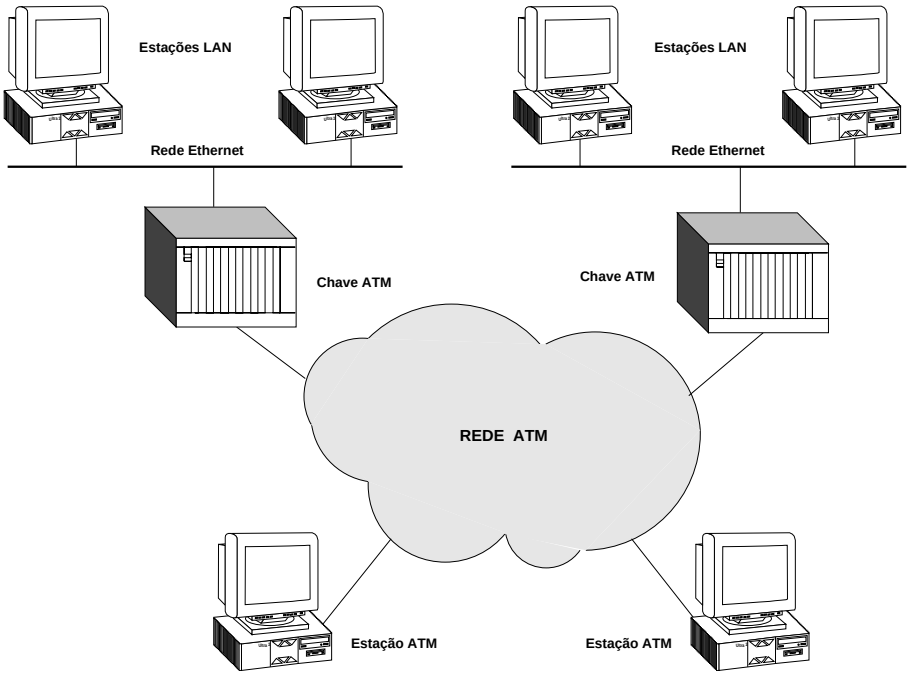

Figura 6.7: Cenário 1: Redes Ethernet e estações ATM

Client) e um serviço de emulação de LANE. Este serviço consiste de um Servidor de Configuração LE (LECS: LAN Emulation Configuration Server), um servidor de LAN emulada (LES: LAN Emulation Server) e um servidor de broadcast (BUS: Broadcast and Unknown Server). Cada LEC é parte de um dispositivo final conectado à rede ATM (hosts, roteadores, pontes e LAN switches) e representa um conjunto de usuários identificados pelos seus endereços MAC. O serviço LE pode ser parte de uma estação ou uma chave ATM, podendo ser centralizado ou distribuído sobre um número de estações. A participação em uma LAN emulada não é baseada na localização física do cliente mas sim na associação a um conjunto específico de serviços. Esta característica torna a LAN emulada adequada à construção e gerenciamento de LANs Virtuais (VLANs-Virtual LANs). A comunicação entre LECs e entre um LEC e o serviço de LAN emulada é realizado sobre VCCs de controle e dados. As LANs emuladas operam em qualquer dos seguintes meios:

- Circuito Virtual Comutado (SVC- Switched Virtual Circuit);
- Circuito Virtual Permanente (PVC- Permanent Virtual Circuit);
- Mistura de SVC/PVC.

No caso de PVC, a camada de gerência é responsável tanto pelo estabelecimento como pelo encerramento das conexões, e tem completa responsabilidade de assegurar que a LAN emulada funcionará corretamente. Na arquitetura proposta para a LANE as camadas interagem através de uma interface de serviço bem definida, fornecendo serviços que serão especificados a seguir (figura 6.9). Os requisitos da interface são os seguintes:

1. A interface entre a camada LANE e a camada superior inclui facilidades para transmissão e recepção de quadros de dados dos usuários;

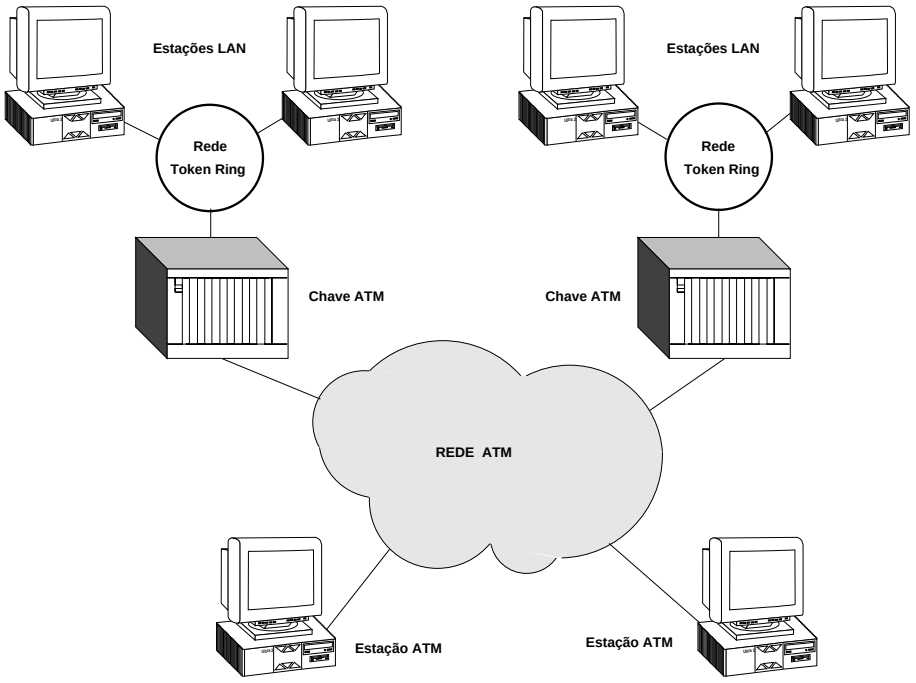

Figura 6.8: Cenário 2: Redes Token Ring e estações ATM

2. A interface entre a camada LANE e a camada de adaptação ATM (AAL) inclui facilidades para transmissão e recepção de quadros AAL5. As interfaces de ponto de acesso a serviços são identificadas por SAP-IDs (que possuem mapeamento um a um para VCCs);

3. A interface entre a entidade LANE e a entidade de gerenciamento de conexão inclui facilidades para requisitar a instalação e a liberação das conexões virtuais. Essa entidade manipula os SVCs e/ou PVCs.

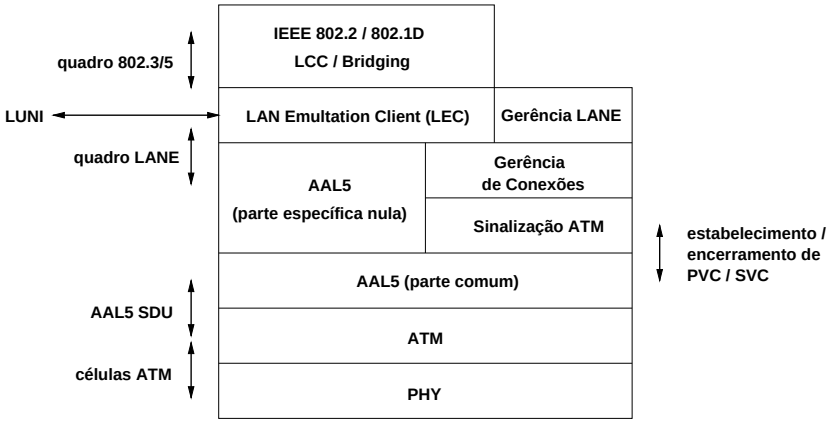

Figura 6.9: Arquitetura em camadas do serviço de LAN Emulation

A interface entre a entidade LANE e a camada de gerência inclui facilidades para iniciar e

controlar a entidade LANE e o retorno de informação do status.

A figura 6.10 ilustra um cenário onde um LEC, em uma estação ATM, interage com um LEC, em um switch ATM, o qual interconecta à rede ATM uma estação de rede local tradicional.

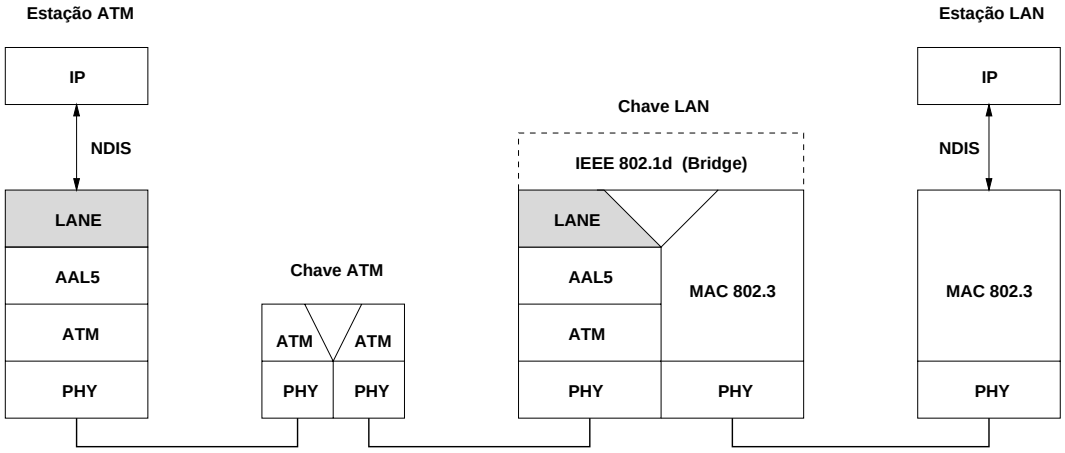

Figura 6.10: Arquitetura do protocolo LANE

LAN Emulation User to Network Interface (LUNI)

Neste modelo de arquitetura, o LEC e o LES interagem através da interface LUNI (figura 6.11) usando PDUs e implementando as funções especificadas a seguir:

- Iniciação: obtenção do endereço ATM dos servidores que compõem o Serviço de LAN Emulada;
- Registro: informar ao serviço LANE os endereços MAC dos clientes ou os descritores de rota na origem (Source-route bridge);
- Resolução de endereço: obtenção do endereço ATM a partir do endereço MAC (unicast ou broadcast) do cliente destino;
- Transferência de dado.

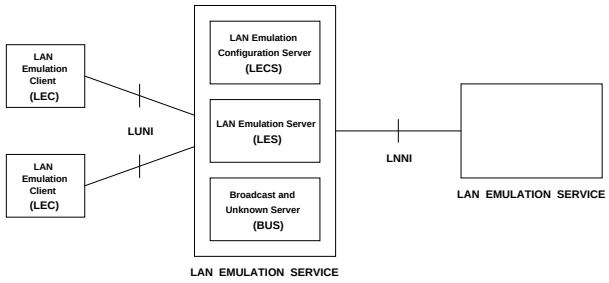

Figura 6.11: Interface Usuário-Rede (LUNI) da LAN Emulation

Perspectiva de Implementação

Usuários conectam-se ao serviço LANE via LECs. Os LECs são tipicamente implementados como parte do driver (software entre o Sistema Operacional e o hardware ATM) que controla a placa ATM. A LAN emulada deve ser usada nas seguintes configurações:

1. Sistemas Intermediários (isto é, pontes, switches de LAN ou roteadores). Estes equipamentos habilitam a comunicação entre LANs já existentes sobre redes ATM;
2. Estações ATM (isto é, estações de trabalho ou PCs). Estão habilitados a se comunicarem ou com estações conectadas às LANs tradicionais e interligadas na nuvem ATM através de um dispositivo intermediário.

O Serviço LANE deve ser implementado em um sistema intermediário ATM (roteador) ou em uma estação ATM. Alternativamente, ele pode ser parte da rede ATM, isto é, implementado em comutadores (switches) ou outros equipamentos específicos ATM.

Componentes do Serviço LANE

O serviço de LAN Emulation segue o modelo cliente/servidor, no qual múltiplos clientes LANE (LECs) utilizam o serviço LANE, este último suportado por três tipos de componentes: os servidores LES, BUS e LECS. O protocolo LANE define a operação de uma única LAN emulada (ELAN). Múltiplas LANs emuladas (ELANs) podem coexistir simultaneamente em uma rede ATM, desde que as conexões ATM não colidam. Uma única LAN emulada emula o padrão Ethernet ou Token Ring, e apresenta os componentes descritos a seguir.

LAN Emulation Client (LEC)

Um LEC executa a resolução de endereços, o envio de dados e outras funções de controle para um sistema final em uma única ELAN. Um LEC também provê uma interface de serviço de LAN padrão para as entidades de camada mais alta que interfaceiam com o LEC. Um sistema final que se encontra conectado a várias ELANs deverá apresentar um LEC por ELAN. Cada LEC é identificado por um endereço ATM único e é associado a um ou mais endereços MAC através do endereço ATM. Caso o LEC seja uma NIC (Network Interface Card), ele terá um único endereço MAC correspondendo a um único endereço ATM. Porém, se o cliente estiver implementado em um LAN switch, ele apresentará vários endereços MAC referentes às portas do switch que fazem parte da LAN emulada correspodendo a um único endereço ATM. Os LECs se comunicam com as funções do serviço de LAN Emulation através de dois tipos de conexões de canal virtual distintos (VCCs):

- conexões de controle: contendo mensagens administrativas, tais como requisições para configuração inicial e para obtenção de endereços de outros LECs;
- conexões de dados: manipulam todas as outras comunicações. Em particular, elas ligam clientes através de comunicação direta de dados unicast, e ligam clientes ao BUS para mensagens broadcast e multicast.

Os VCCs podem operar sobre circuitos virtuais chaveados alocados dinamicamente (SVCs), circuitos virtuais permanentes (PVCs), ou uma mistura de ambos. Cada componente de rede

pode suportar múltiplas instâncias de um LEC, permitindo que várias LANs emuladas existam simultaneamente em uma mesma rede física. Por exemplo, um roteador ATM encarregado do gerenciamento do tráfego entre duas LANs emuladas distintas deve suportar duas instâncias de um LEC, uma para cada LAN emulada. É importante ressaltar que, se uma especificação de LANE inclui dois tipos de LAN emulada, uma Token Ring e uma Ethernet, isso não significa que seja permitida a conectividade direta entre o LEC que implementa a rede emulada Ethernet e um que implemente a rede emulada Token Ring.

LAN Emulation Server (LES)

Os servidores da LAN emulada implementam as funções de controle para uma determinada ELAN através do registro e resolução de endereços para os LECs conectados à LANE. Há somente um LES por ELAN, sendo identificado por um endereço ATM único. O LES executa funções de controle, incluindo resolução de endereços de acesso ao meio (MAC) em endereços ATM. Os clientes devem registrar junto ao LES o seu endereco MAS e as LANs destino que eles representam. Um cliente também deve consultar ao LES quando necessitar resolver um endereço MAC e/ou um descritor de rota em um endereço ATM. O LES irá responder diretamente ao cliente ou enviar a requisição a outros clientes para que estes respondam.

Broadcast and Unknown Server (BUS)

As redes locais são baseadas em envio broadcast. Dessa forma, a LAN emulada deve oferecer esse tipo de serviço. A função do BUS é enviar mensagens broadcast tais como mensagens de resolução de endereços IP. Cada LEC é associado a um único BUS por ELAN. Um BUS ao qual um LEC se conecta é identificado por um endereço ATM único. No LES, o endereço do BUS corresponde ao endereço MAC de broadcast, e esse mapeamento é geralmente configurado no LES. O servidor manipula os quadros de broadcast e multicast, bem como quadros para os quais o endereço MAC ainda não foi resolvido para endereço ATM.

Todos os LECs mantêm uma conexão ponto-ponto com o BUS da sua LANE e são folhas em uma conexão ponto-multiponto para a qual o BUS é a raiz. Isto permite aos clientes enviarem quadros antes que seja resolvido o endereço do destino e o consequente estabelecimento de uma conexão direta para o envio dos quadros. Esta característica mantém a presença de um serviço sem conexão de transmissão de dados típico das redes locais tradicionais. A figura 6.12 ilustra a operação do BUS.

Um LEC envia quadros de dados para o BUS o qual serializa os quadros e retransmite-os para um grupo de LECs participantes. A serialização é necessária para evitar que quadros AAL5 de fontes diferentes sejam intercalados.

LAN Emulation Configuration Server (LECS)

O LECS é responsável pela associação dinâmica de diferentes LECs a diferentes LANs emuladas e pela manutenção de uma base de dados contendo as associações resultantes. O LECS informa quais LECs fazem parte de quais LANs emuladas. Existe um LECS por domínio administrativo e este serve a todas as LANs emuladas que se encontram em seu domínio.

O protocolo LANE não especifica onde os componentes da LANE descritos acima devem ser localizados..

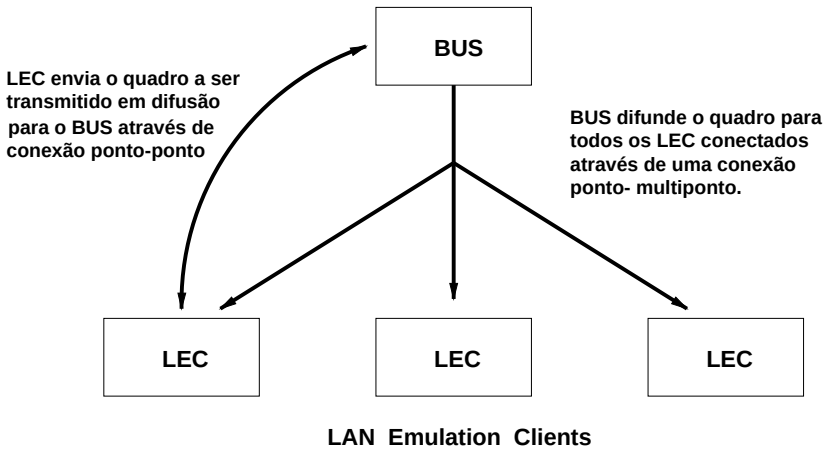

Figura 6.12: Mensagens broadcast e unicast gerenciadas pelo BUS

6.7.2 Tipos de Conexões

As conexões utilizadas pelo serviço LANE são de 2 tipos:

1. Conexões de controle: conectam o LEC ao LECS ou ao LES para troca de mensagens de controle para realização do serviço LANE:

2. Conexões de dados: VCCs de conexões de dados conectam os LECs entre si e com o BUS. Suportam quadros Ethernet e Token Ring dependendo do tipo da LAN emulada.

Conexões de Controle

A serviço de LAN Emulation define as seguintes conexões de controle esquematizadas na figura 6.13:

VCC direto de configuração: é um canal virtual bidirecional ponto-a-ponto estabelecido entre o LEC e o LECS. Por este canal, o LECS envia ao LEC a informação de configuração, incluindo o endereço do LES. A entidade pode manter ou não este VCC enquanto participa da LAN Emulada. É ativado pelo LEC como parte da fase de conexão ao LECS.

VCC de controle direto: é um canal virtual bidirecional ponto-a- ponto estabelecido entre o LEC e o LES para envio de tráfego de controle. Ele é ativado pelo LEC na fase de iniciação. Uma vez que o LES tem a opção de usar um caminho de retorno para enviar dados de controle para o LEC, isto requer que o LEC aceite o tráfego de controle deste VCC.

VCC de controle distribuído: é um canal virtual unidirecional através do qual o LES retorna informações (tais como resoluções de endereço) ao LEC, via conexões ponto-a-ponto ou ponto-multiponto. Deve ser ativado pelo LES como parte da fase de iniciação.

Conexões de Dado

A seuviço de LAN Emulation define as seguintes conexões de controle esquematizadas na figura 6.13:

VCC direto de dados: é um canal virtual bidirecional ponto-a- ponto que estabelece comunicação entre dois LECs que desejam efetuar troca de dados unicast. Dois LECs utilizarão o mesmo canal virtual direto de dados para transportar todos os pacotes transmitidos entre eles.

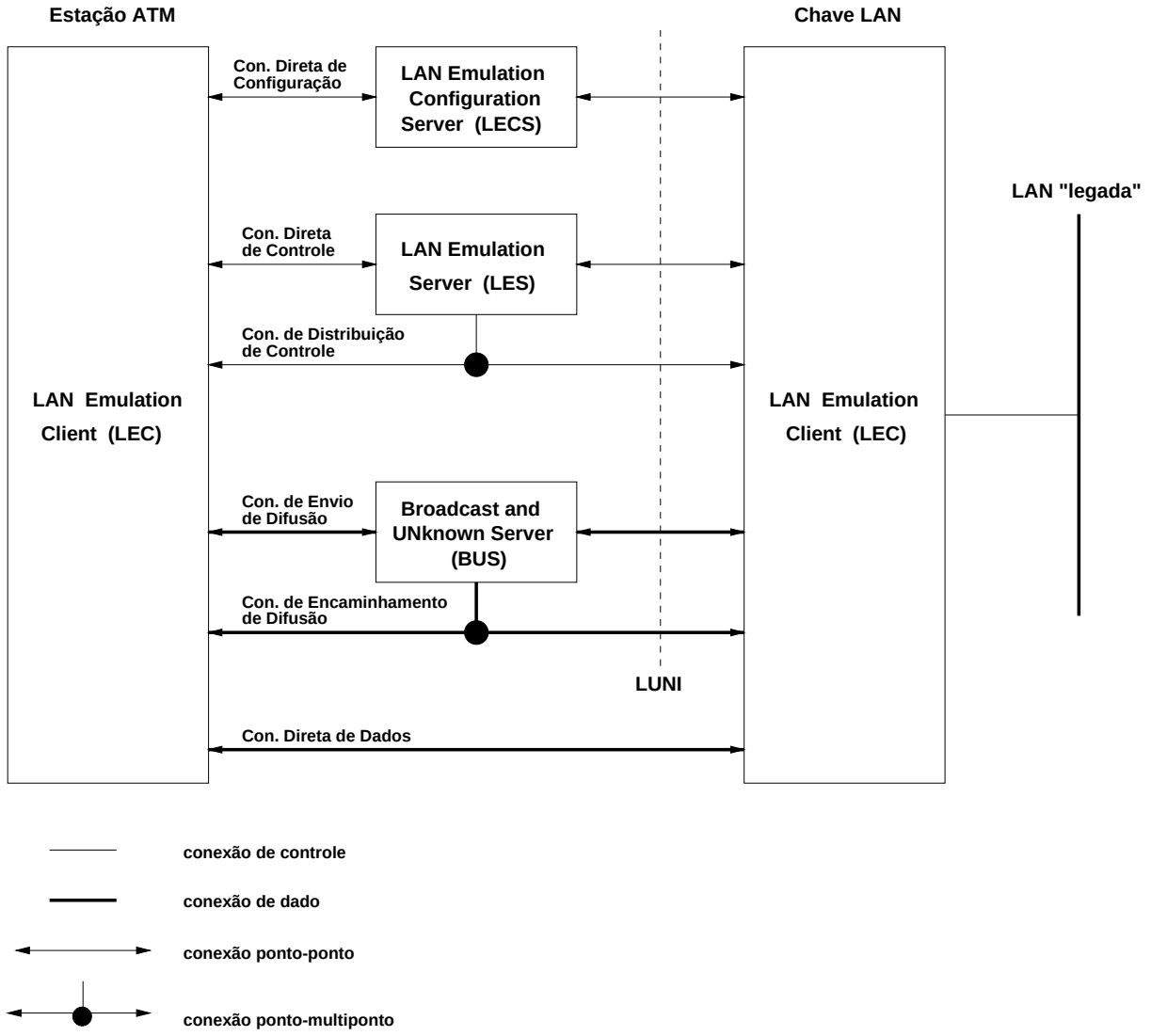

Figura 6.13: Conexões de Controle e Dado para o serviço de LAN Emulation

Quando um LEC tem um quadro para enviar para um endereço MAC onde o correspondente endereço ATM é desconhecido, o LEC deve gerar uma requisição LE_ARP para obter tal endereço. Uma vez que o LEC recebe uma resposta LE_ARP ele estabelece um VCC ponto-a-ponto (Data Direct VCC) se não estiver já estabelecido, sobre o qual mandará todos os dados subsequentes para aquele destino. O LEC é responsável, após enviar uma requisição e receber uma resposta LE_ARP, por iniciar a sinalização para estabelecer este VCC direto de dados com o nome do cliente correspondeste ao LE_ARP. Se o cliente não possui recursos suficientes para estabelecer um VCC direto de dados, ele deve enviar os quadros para o BUS até que o cliente consiga recursos para estabelecer um novo VCC direto de dados.

VCC de envio multicast: é um canal virtual bidirecional ponto-a-ponto estabelecido do LEC para o BUS. Este VCC é estabelecido usando o mesmo processo do VCC direto de dados. O LEC na fase de configuração envia um LE_ARP relativamente ao endereço de broadcast e, quando recebe

uma resposta, inicia a sinalização para estabelecer este VCC bidirecional para o BUS.

VCC de Encaminhamento Multicast: é um canal virtual unidirecional do LEC para o BUS, tipicamente uma conexão ponto-multiponto, com cada LEC como uma folha. Depois do LEC estabelecer o VCC de envio multicast, o BUS inicia a sinalização para o VCC de Encaminhamento Multicast para o LEC. Este VCC é usado para distribuir dados do BUS. Ele pode ser uma conexão ponto-mutiponto, ou um VCC unidirecional ponto-a-ponto.

O VCC de Encaminhamento Multicast deve ser estabelecido antes do LEC participar da LAN emulada e deve ser mantido enquanto estiver participando desta. O BUS deve reenviar quadros para o LEC no VCC de envio multicast ou no VCC de Encaminhamento Multicast. Um LEC não receberá quadros duplicados enviados por ambos os VCCs multicast, mas deve estar apto a receber quadros de qualquer um dos dois.

6.8 Evolução da Internet para uma RDSI-FL