

*Redes e Serviços Públicos de
Comunicação de Dados*

*FEUP/DEEC/CDRC 1 – 2002/03
MPR/JAR*

X.25

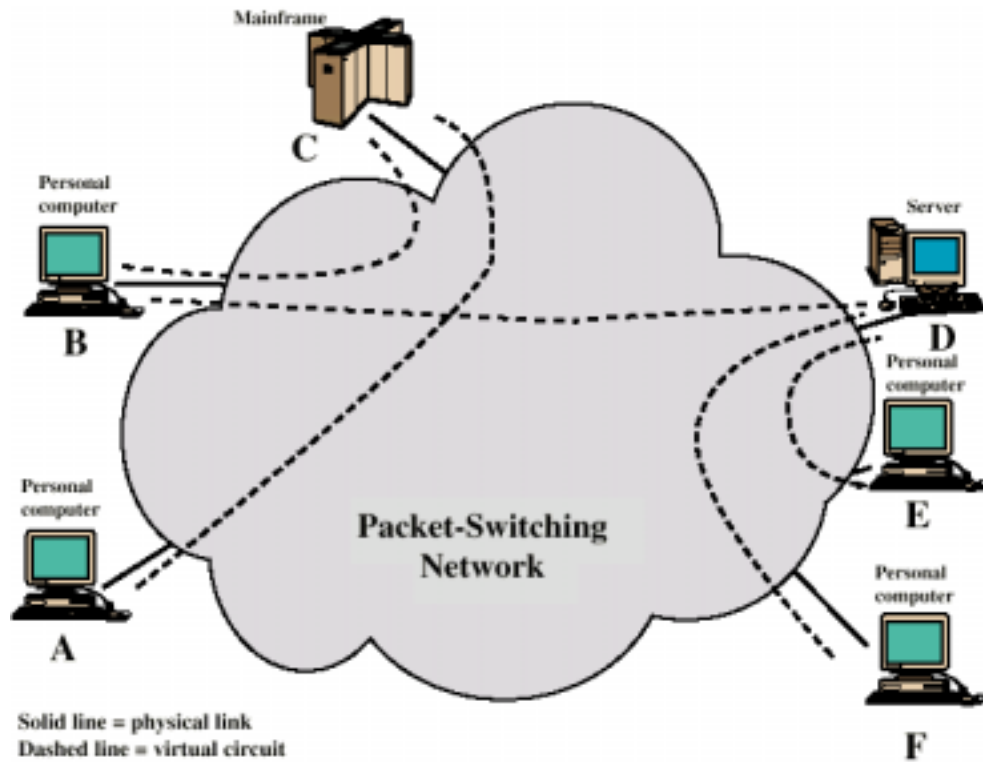
X.25

- ◆ A recomendação X.25 do ITU-T define os protocolos na interface de acesso entre um equipamento terminal e uma rede pública de comutação de pacotes
 - » Especifica três níveis que correspondem aos três níveis mais baixos do OSI
- ◆ Nível Físico
 - » Interface física entre o equipamento terminal (DTE – *Data Terminal Equipment*) e um equipamento de terminação de Rede (DCE – *Data Circuit-terminating Equipment*)
- ◆ Nível de ligação de dados (nível trama)
 - » LAPB - *Link Access Procedures Balanced*
 - » Especifica os procedimentos para estabelecer, manter e terminar uma ligação de dados que permite o envio fiável de tramas, sujeito a mecanismos de controlo de erros e de fluxo
- ◆ Nível de rede (nível pacote)
 - » Oferece um Serviço de Circuitos Virtuais
 - » Especifica os procedimentos para estabelecer, manter e terminar circuitos virtuais e transferir pacotes de dados nos circuitos virtuais

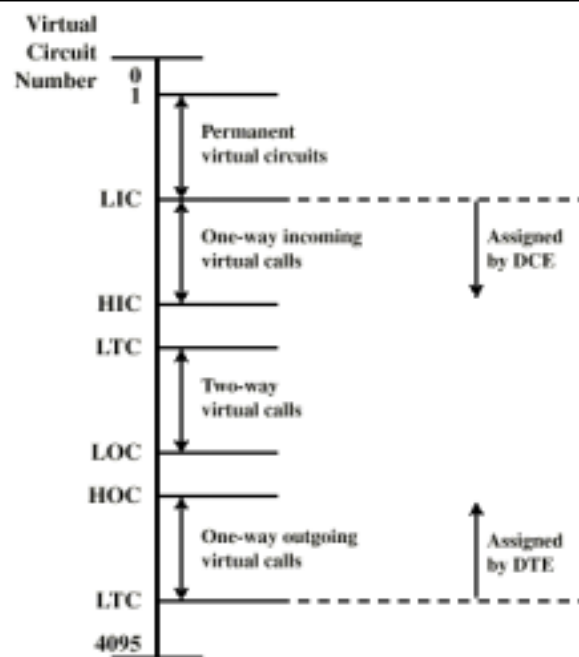
X.25 – Serviço de Circuitos Virtuais

- ◆ X.25 oferece um serviço de Circuitos Virtuais
- ◆ Os Circuitos Virtuais são identificados na interface de acesso por um Número de Canal Lógico (12 bits)
 - » É possível multiplexar até 4095 circuitos virtuais numa interface de acesso
- ◆ Os Circuitos Virtuais podem ser de dois tipos
 - » Comutados (SVC - *Switched Virtual Circuits*)
 - Os circuitos virtuais comutados (chamadas virtuais) são estabelecidos e terminados por meio de procedimentos de sinalização próprios do X.25 (sinalização *in-band*)
 - A sinalização associada ao estabelecimento e terminação de Circuitos Virtuais recorre a pacotes de controlo e é realizada no mesmo canal lógico em que são transportados os pacotes de dados da chamada correspondente
 - » Permanentes (PVC - *Permanent Virtual Circuits*)
 - Os circuitos virtuais permanentes são estabelecidos por meio de procedimentos de gestão e mantidos durante um período definido contratualmente

Utilização de Circuitos Virtuais X.25



Numeração de Canais Lógicos X.25

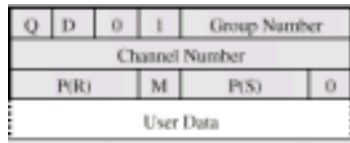


LIC = Lowest incoming channel
HIC = Highest incoming channel
LTC = Lowest two-way channel

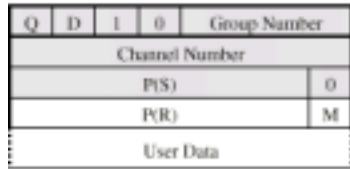
HTC = Highest two-way channel
LOC = Lowest outgoing channel
HOC = Highest outgoing channel

Virtual circuit number =
logical group number and
logical channel number

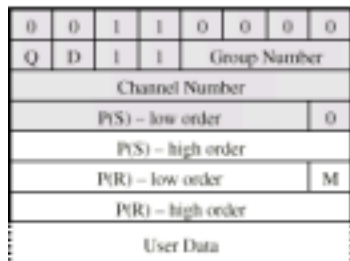
X.25 - Formato dos Pacotes



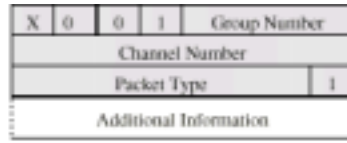
(a) Data packet with 3-bit sequence numbers



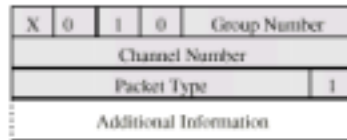
(d) Data packet with 7-bit sequence numbers



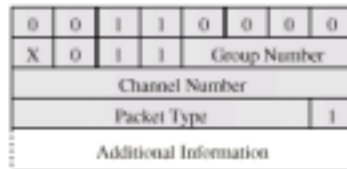
(g) Data packet with 15-bit sequence numbers



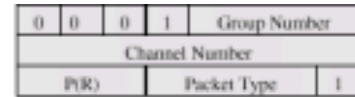
(b) Control packet for virtual calls with 3-bit sequence numbers



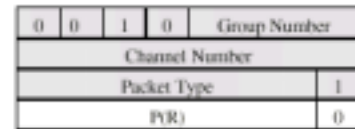
(e) Control packet for virtual calls with 7-bit sequence numbers



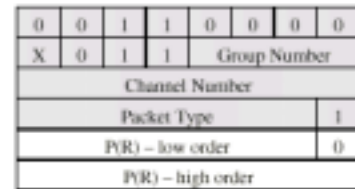
(h) Control packet for virtual calls with 15-bit sequence numbers



(c) RR, RNR, and REJ packets with 3-bit sequence numbers



(f) RR, RNR, and REJ packets with 7-bit sequence numbers

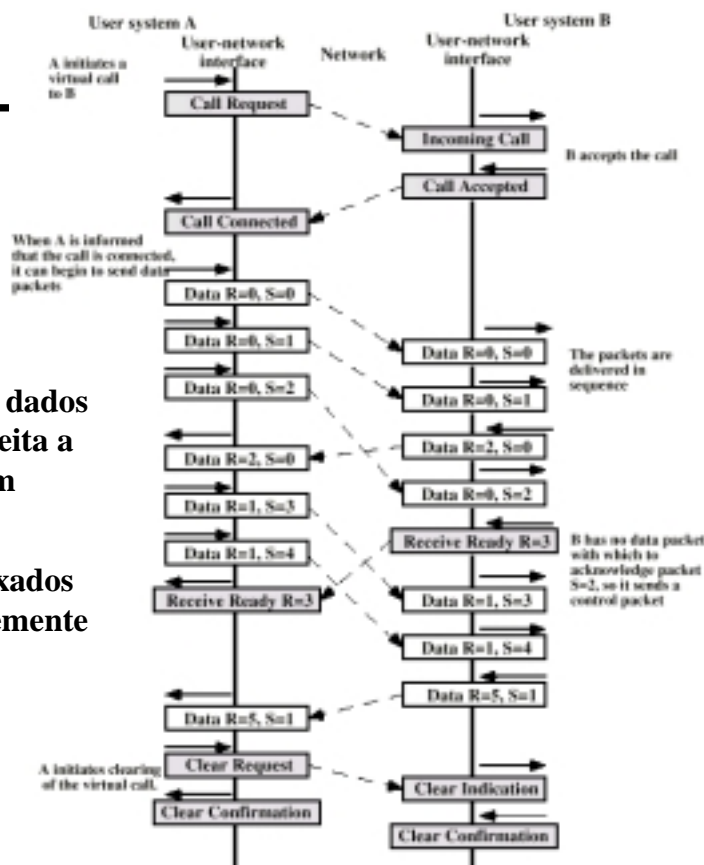


(i) RR, RNR, and REJ packets with 15-bit sequence numbers

Chamada Virtual

A transferência de pacotes de dados num Circuito Virtual está sujeita a controlo de fluxo baseado num mecanismo de janela

Os circuitos virtuais multiplexados na rede operam independentemente



Serviços de Suporte em Modo Trama

Frame Relay

Serviços de Suporte em Modo Trama

A expressão *Frame Relay* é habitualmente usada, em sentido lato, para designar serviços baseados na comutação (rápida) de tramas, isto é, unidades de dados de comprimento variável transportadas na camada de ligação de dados

A recomendação I.122 (ITU-T) designa estes serviços por Serviços de Suporte em Modo Trama, que incluem:

- » *Frame Relaying*
- » *Frame Switching*
- » *X.25 based additional packet mode*

O primeiro é o mais simples e o mais usual, pelo que a expressão *Frame Relay* se popularizou para designar esta família de serviços

Princípios Arquitectónicos

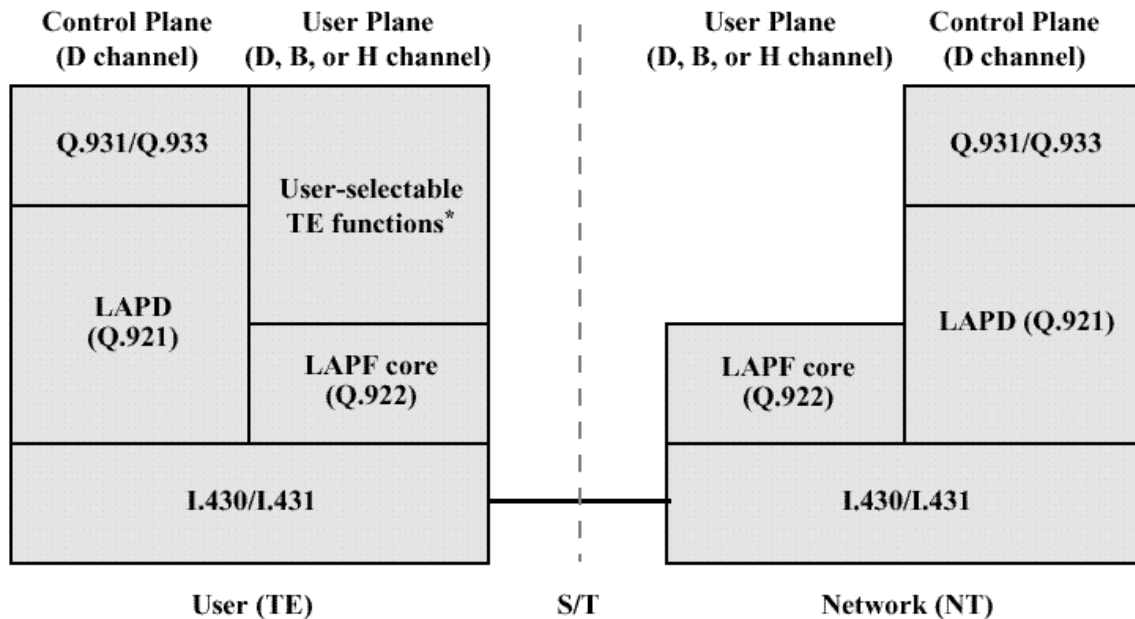
- ◆ *Frame Relay* é uma forma simplificada de comutação de pacotes
 - » permite comutação mais rápida e mais eficiente que a comutação X.25
 - » ultrapassa algumas limitações dos serviços em modo pacote na RDIS
- ◆ Baseia-se em princípios arquitectónicos adoptados na RDIS (embora *Frame Relay* não tenha necessariamente de ser suportado na RDIS)
 - » Separação dos procedimentos de sinalização e de transferência de dados do utilizador
 - as conexões em modo trama são estabelecidas por meio de procedimentos de sinalização de nível 3 (Q.931 / Q.933)
 - » Nos canais de suporte são transportados apenas dados do utilizador, sendo a multiplexagem e comutação realizada na camada de ligação de dados
 - os procedimentos de nível 2 na interface de acesso constituem uma extensão do LAPD (RDIS), que permite multiplexar várias ligações de dados e portanto suportar directamente múltiplos fluxos de dados de camadas superiores

Princípios de Funcionamento

A simplificação do processo de comutação resulta de vários factores

- ◆ Adopção de comutação de circuitos virtuais
- ◆ Eliminação de procedimentos pesados de controlo de erro e de fluxo nos nós da rede, remetendo-os para a periferia ou para o equipamento terminal (se necessário)
 - » Com as taxas de erro muito baixas possíveis em sistemas de transmissão digital deixa de fazer sentido realizar controlo de erro no interior da rede
 - » É deixada ao equipamento terminal a responsabilidade de recuperação de erros (extremo-a-extremo), dependendo dos requisitos das aplicações (elevada fiabilidade e alguma tolerância a atrasos em aplicações de dados vs tempo de resposta crítico e alguma tolerância a perdas em aplicações com requisitos de tempo real)
- ◆ Tal simplificação torna possível comutação de alta velocidade, condição necessária para a exploração da elevada capacidade disponível em sistemas de transmissão digital

Interface Utilizador-Rede



* Additional functions to support flow and error control may be provided. LAPF control is one protocol that may be used.

Plano de Controlo

- ◆ Os procedimentos de sinalização entre o utilizador e a rede são suportados em canais lógicos distintos dos canais lógicos usados para transferência de dados
- ◆ Camada de ligação de dados
 - » LAPD (Q.921)
 - » Ligação de dados fiável
 - » Controlo de erro e de fluxo
- ◆ Camada de rede
 - » Procedimentos para estabelecimento dos canais de suporte e para acesso aos serviços em modo trama (Q.931 / Q.933)

Plano do Utilizador

- ◆ Transferência de dados do utilizador
 - » Procedimentos entre o utilizador e a rede (camada de ligação de dados) e entre utilizadores (extremo-a-extremo)
- ◆ Ausência de procedimentos de sinalização
- ◆ Camada de ligação de dados
 - » Q.922 - LAPF (*Link Access Procedures for Frame Mode Bearer Services*)
 - » Os procedimentos LAPF são subdivididos, separando funções básicas ou nucleares (*DL-core*) e funções de controlo (*DL-control*)
 - » Funções nucleares (*core*)
 - Delimitação de tramas (*flags*), alinhamento e transparência (*bit-stuffing / de-stuffing*)
 - Multiplexagem e desmultiplexagem de tramas com base em identificadores de ligação de dados (DLCI) no campo de endereço
 - Verificação do tamanho das tramas (número inteiro de octetos, valores mínimo e máximo)
 - Detecção de erros de transmissão
 - Ausência de funções de controlo de erro e de fluxo
 - Indicação de congestionamento

Serviços em Modo Trama - variantes

As diferenças entre os Serviços em Modo Trama referem-se apenas ao Plano do Utilizador e às funções Q.922 suportadas

- ◆ *Frame Relaying*
 - » Na interface de acesso é usado apenas o núcleo Q.922
 - » Tramas descartadas devido a erros ou a congestionamento na rede não são recuperadas - o serviço não é fiável mas garante a entrega ordenada de tramas
 - » Funções de controlo adicionais são suportadas extremo-a-extremo, podendo ser específicas do utilizador (FR1) ou segundo Q.922 (FR2)
- ◆ *Frame Switching*
 - » Na interface de acesso são usados os procedimentos Q.922 completos
 - » Serviço fiável, com transferência de tramas sujeita a confirmação, controlo de erro e controlo de fluxo
- ◆ *X.25-based additional packet mode* (não especificado)
 - » Na interface de acesso são usados os procedimentos Q.922 e no nível 3 os procedimentos de transferência de pacotes X.25 (excluindo os respectivos procedimentos de sinalização *inband* para controlo de circuitos virtuais)

Interface ao Serviço Frame Relay

- ◆ O Serviço *Frame Relay* é orientado à conexão, oferecendo portanto uma interface do tipo Circuito Virtual
- ◆ Os Circuitos Virtuais são identificados por um identificador de ligação de dados (DLCI) no campo de endereço das tramas
- ◆ Os Circuitos Virtuais podem ser de dois tipos:
 - » Comutados (SVC - *Switched Virtual Circuits*)
 - Os circuitos virtuais comutados (chamadas virtuais) são estabelecidos e terminados por meio de procedimentos de sinalização
 - » Permanentes (PVC - *Permanent Virtual Circuits*)
 - Os circuitos virtuais permanentes são estabelecidos por meio de procedimentos de gestão

Frame Relay vs X.25

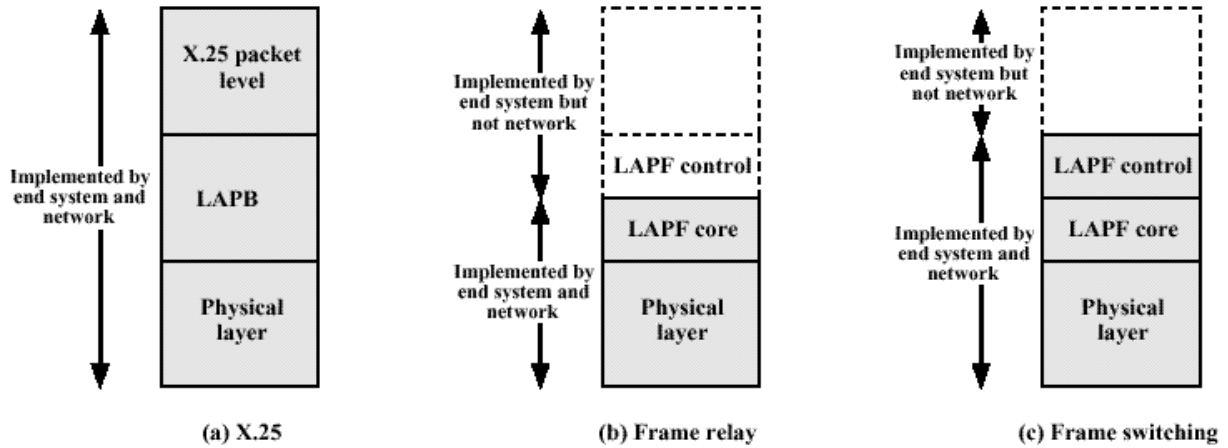
X.25

- » Nível 3 inclui procedimentos de controlo de chamadas virtuais e de transferência de pacotes no mesmo canal lógico (sinalização *in-band*)
- » Multiplexagem e comutação de circuitos virtuais no nível 3
- » Mecanismos de controlo de erro e de fluxo no nível 2 (ligação de dados) e no nível 3 (por circuito virtual)
- » *Overhead* significativo: procedimentos e informação de controlo protocolar

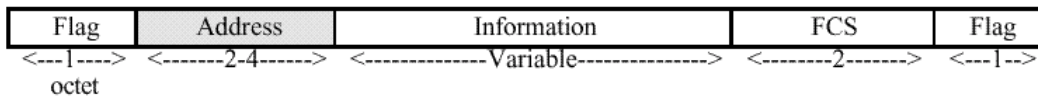
Frame Relay

- » Procedimentos de sinalização de nível 3 em canais lógicos separados
- » Multiplexagem e comutação de circuitos virtuais no nível 2
- » Ausência de controlo de erro e de fluxo nó a nó
 - Controlo de erro e de fluxo extremo-a-extremo (se necessário)

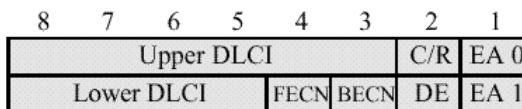
X.25 vs Frame Relay / Switching



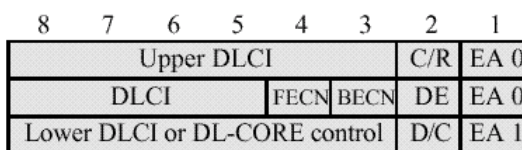
Formatos LAF - Core



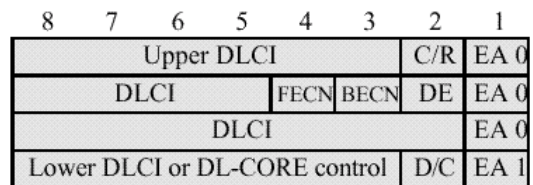
(a) Frame format



(b) Address field - 2 octets (default)



(c) Address field - 3 octets



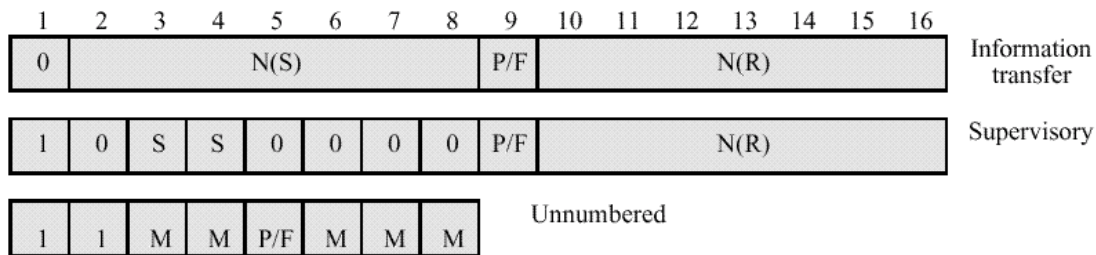
(d) Address field - 4 octets

- EA Address field extension bit
- C/R Command/response bit
- FECN Forward explicit congestion notification
- BECN Backward explicit congestion notification
- DLCI Data link connection identifier
- D/C DLCI or DL-CORE control indicator
- DE Discard eligibility

Formatos LAPF - Control



(a) Frame format



N(S) Transmitter send sequence number
 N(R) Transmitter receive sequence number
 P/F Poll/final bit
 S Supervisory function bit
 M Modifier function bit

(b) Control field formats

Indicação de Congestionamento e de Descarte

- ◆ **FECN - Forward Explicit Congestion Notification**
 - » Enviado para o receptor (destinatário) de tráfego, notificando-o de que as tramas que está a receber encontraram recursos congestionados
 - » Pode ser usado para controlo do débito do emissor (fonte) realizado pelo receptor (exemplo: mecanismo de janela extremo-a-extremo)
- ◆ **BECN - Backward Explicit Congestion Notification**
 - » Enviado para o emissor (fonte) de tráfego, notificando-o de que as tramas que vai transmitir podem encontrar recursos congestionados
 - » Pode ser usado para controlar directamente o débito do emissor (fonte)
- ◆ **DE - Discard Eligibility**
 - » Tramas marcadas com DE = 1 são descartadas preferencialmente
 - » A marcação de tramas com DE = 1 pode ser feita pelo terminal ou pela rede (a marcação de DE pela rede depende do tráfego e do contrato estabelecido)
 - » A rede não é obrigada a descartar tramas com DE = 1 nem está impedida de descartar tramas com DE = 0

Parâmetros de Tráfego

» AR - Access Rate

- Capacidade do canal físico para acesso ao serviço
- O débito instantâneo do utilizador é limitado pela capacidade do canal de acesso

» CIR - Committed Information Rate

- Débito médio na interface de acesso que a rede deve garantir em condições normais
- CIR é definido num intervalo T (tipicamente da ordem de 1s) não directamente especificado

» B_c - Committed Burst Size

- Máxima quantidade de informação que a rede aceita transferir em condições normais durante um intervalo T, indirectamente definido pela relação $B_c = CIR * T$
- É possível transmitir um *burst* máximo B_c com débito instantâneo AR, desde que o valor médio do débito (em qualquer intervalo T) não exceda CIR
- O tráfego é sujeito a policiamento pela rede em janelas de observação contínuas de duração T
- A geração de tráfego conforme (*shaping*) e o respectivo policiamento podem ser realizados com um mecanismo de controlo do tipo *Token Bucket*

» B_e - Excess Burst Size

- Máxima quantidade de informação (para além de B_c) que a rede transmite condicionalmente durante um intervalo T; $B_e = EIR * T$, sendo EIR - *Excess Information Rate*
- Tráfego que num período T exceda $B_c + B_e$ é descartado incondicionalmente

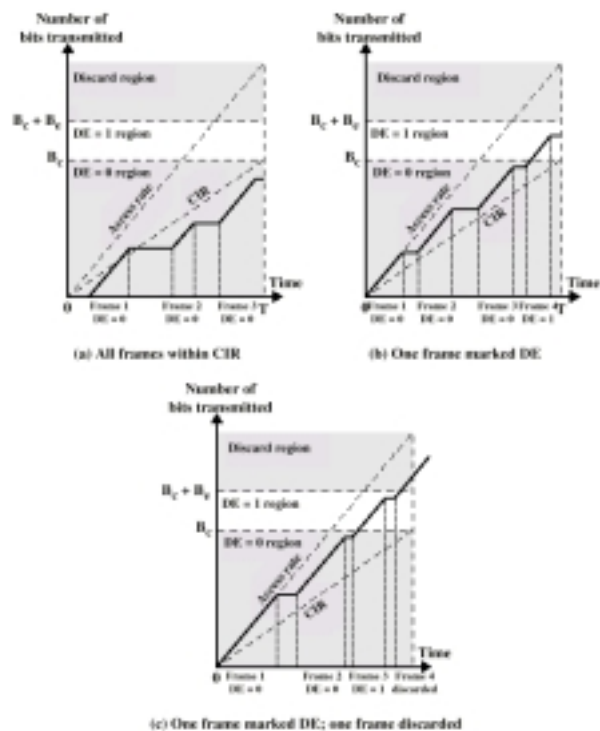
Policiamento de tráfego

(a) Todas as tramas respeitam CIR e B_c , sendo marcadas com DE=0

(b) CIR e B_c são excedidos, mas não B_c+B_e ; a quarta trama é marcada com DE=1

(c) CIR e B_c+B_e são excedidos; a terceira trama é marcada com DE=1, por se verificar a condição (b), mas a quarta é descartada incondicionalmente

A forma como a rede utiliza a informação presente no bit DE para eventual descarte de tramas depende do estado de congestionamento e da estratégia adoptada para o seu controlo



Vantagens e Limitações do Frame Relay

- ◆ O serviço *Frame Relay* não garante total fiabilidade na transferência de dados, uma vez que tramas descartadas devido a erros de transmissão ou congestionamento não são recuperadas pela rede
 - » o impacto deste efeito é limitado pela elevada fiabilidade dos sistemas de transmissão digital e por mecanismos de prevenção de congestionamento
- ◆ O aumento da capacidade de comutação resultante da redução de *overheads* protocolares e de processamento tem como consequências
 - » o aumento do débito (*throughput*) possível (total e por circuito virtual)
 - » a redução do tempo de atraso (latência) na rede
- ◆ O serviço *Frame Relay* combina assim as vantagens da comutação de circuitos /circuitos dedicados (atraso reduzido na rede) com as vantagens da comutação de pacotes (elevada eficiência devido à exploração de multiplexagem estatística), podendo esta ser realizada a muito alta velocidade (possivelmente até cerca de 45 Mbit/s)

Aplicações

- ◆ As características do serviço *Frame Relay* recomendam a sua utilização como substituto natural do X.25, nomeadamente em aplicações que requeiram Circuitos Virtuais Comutados (SVC)
- ◆ Por outro lado o recurso a Circuitos Virtuais Permanentes (PVC) constitui uma alternativa muito vantajosa a circuitos dedicados
 - » A possibilidade de negociar na interface de acesso o valor de AR e ainda de CIR por circuito virtual permite uma flexibilidade muito superior à oferecida por circuitos telefónicos (capacidade fixa e granularidade)
 - » Redução significativa de custos para a mesma capacidade instalada (ou aumento significativo da capacidade útil para custo idêntico) relativamente a circuitos telefónicos (devido à exploração de multiplexagem estatística)
 - » Possibilidade de multiplexar num único acesso vários circuitos virtuais, para o mesmo destino (suporte de múltiplos dispositivos físicos ou lógicos remotos) ou para destinos diferentes (por exemplo interligação de LANs)

Aplicações

◆ Interligação de LANs

- » Com PVCs *Frame Relay* é possível criar uma topologia lógica em malha com conectividade idêntica ou mais rica que a da topologia física realizada com circuitos dedicados
 - com custo idêntico é possível enriquecer a topologia com recurso a PVCs adicionais ou subscrever acessos com capacidade mais elevada
- » Com PVCs cada LAN requer um único acesso a um *backbone* comum
 - redução do número de interfaces por *router* interligado
 - redução da complexidade de gestão da rede
 - partilha eficiente de largura de banda pelos vários circuitos virtuais, adaptada aos fluxos de tráfego entre LANs (impossível com circuitos dedicados entre pares de *routers*)

◆ Integração de serviços

- » Alguns fabricantes desenvolveram dispositivos (FRAD - *Frame Relay Access Devices*) que permitem suportar no mesmo acesso vários serviços, nomeadamente voz (com compressão), fax, dados críticos e dados *bursty*, com prioridades configuráveis conforme a sua importância relativa

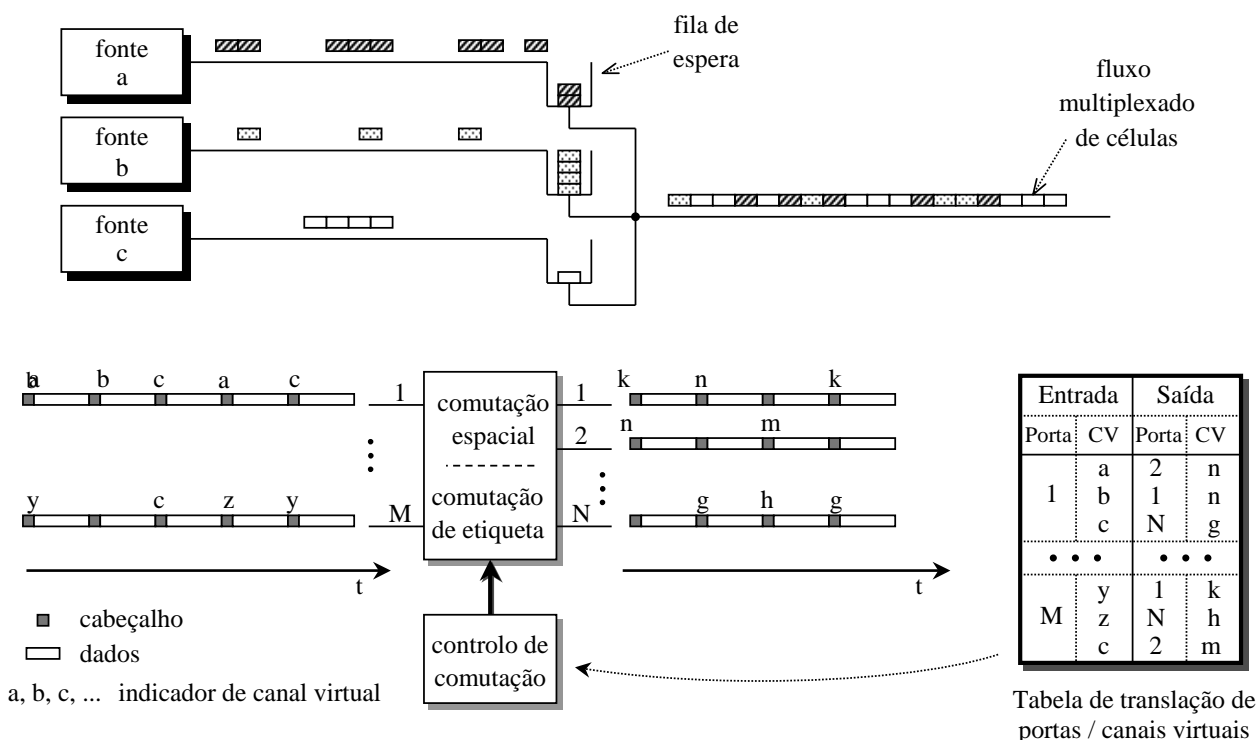
ATM

Asynchronous Transfer Mode

ATM - Princípio de funcionamento

- » O Modo de Transferência Assíncrono (*Asynchronous Transfer Mode* - ATM) é uma tecnologia rápida de comutação de pacotes, orientada à conexão
 - a unidade de transmissão e comutação designa-se por Célula (pacote de comprimento fixo e pequeno)
 - as Células são transportadas em Circuitos Virtuais (Comutados ou Permanentes)
 - o processo de comutação é simplificado, uma vez que não são suportados nos nós da rede mecanismos complexos de controlo de erros e de fluxo
- » Os fluxos de células de vários Circuitos Virtuais são multiplexados e competem pelos recursos da rede
 - são necessárias filas de espera para arbitrar o acesso aos recursos partilhados
 - visto que uma rede ATM suporta serviços com diferentes características e diferentes requisitos de Qualidade de Serviço (QoS), são necessários mecanismos de controlo de tráfego que permitam diferentes tipos de reserva e atribuição de recursos aos fluxos em competição, com exploração de multiplexagem estatística quando tal for possível

ATM – multiplexagem e comutação



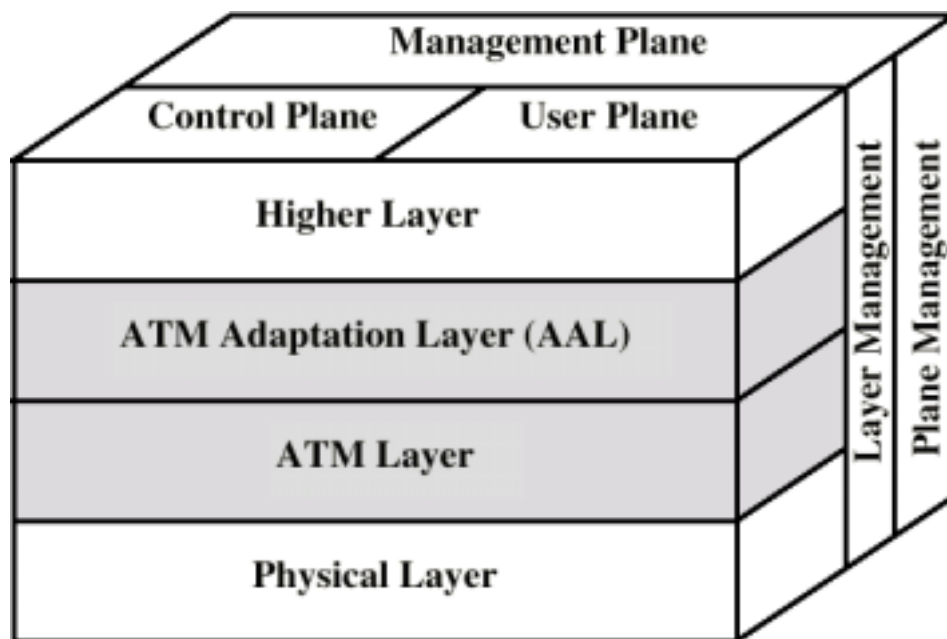
ATM - Multiplexagem Estatística

- » É inerente ao modo de operação do ATM que a ocupação de células de um CV seja irregular (assíncrona), não obedecendo a um padrão pré-definido
- » A multiplexagem e comutação de células ATM origina assim variações de débito e atraso que dependem por um lado do próprio padrão de tráfego (débito constante ou variável) submetido em cada CV, mas também da disponibilidade de recursos objecto de competição
- » A importância das variações instantâneas do débito e do atraso depende dos requisitos de Qualidade de Serviço. A existência de tráfego com débito variável possibilita a exploração de Multiplexagem Estatística
 - a multiplexagem estatística permite aumentar a eficiência na utilização de recursos
 - a multiplexagem estatística aumenta a probabilidade de conflitos no acesso a recursos, originando situações de sobrecarga que agravam os atrasos e podem mesmo originar perdas (*overflow* de *buffers*)
- » O grau de multiplexagem estatística (ganho estatístico) resulta assim de um compromisso entre eficiência e QoS - o que exige negociação de contratos por CV e uma caracterização rigorosa do tráfego e dos objectivos de QoS

ATM - Reserva e Atribuição de Recursos

- » A necessidade de satisfazer diferentes requisitos de QoS exige que numa rede ATM se considerem classes de tráfego que serão objecto de tratamento diferenciado no que se refere à reserva e atribuição de recursos
 - a reserva de recursos está associada ao processo de aceitação de uma chamada
 - a atribuição de recursos é um processo dinâmico face ao tráfego em competição
- » Podemos considerar genericamente três tipos de requisitos de QoS a que correspondem três possíveis estratégias diferentes de reserva de recursos
 - Reserva Determinística, que permite oferecer garantias estritas (e.g. atraso máximo não excedido) a serviços com requisitos de tempo real
 - Reserva Estatística, que permite oferecer garantias expressas em termos probabilísticos a serviços com débito variável sem requisitos de tempo real (e.g. garantia de débitos e atrasos médios, mas atraso máximo não controlado)
 - Ausência de Reserva, para serviços *best effort* aos quais não são oferecidas quaisquer garantias
- » As estratégias de atribuição de recursos procuram satisfazer os requisitos de QoS de cada classe de tráfego face ao tráfego instantâneo, à atribuição corrente de recursos às várias classes e à disponibilidade de recursos

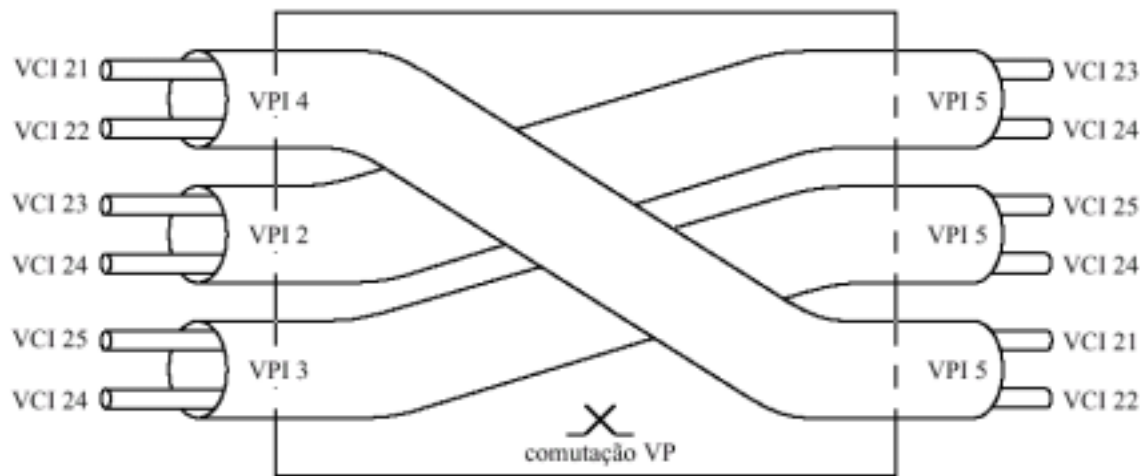
ATM - Modelo Protocolar de Referência



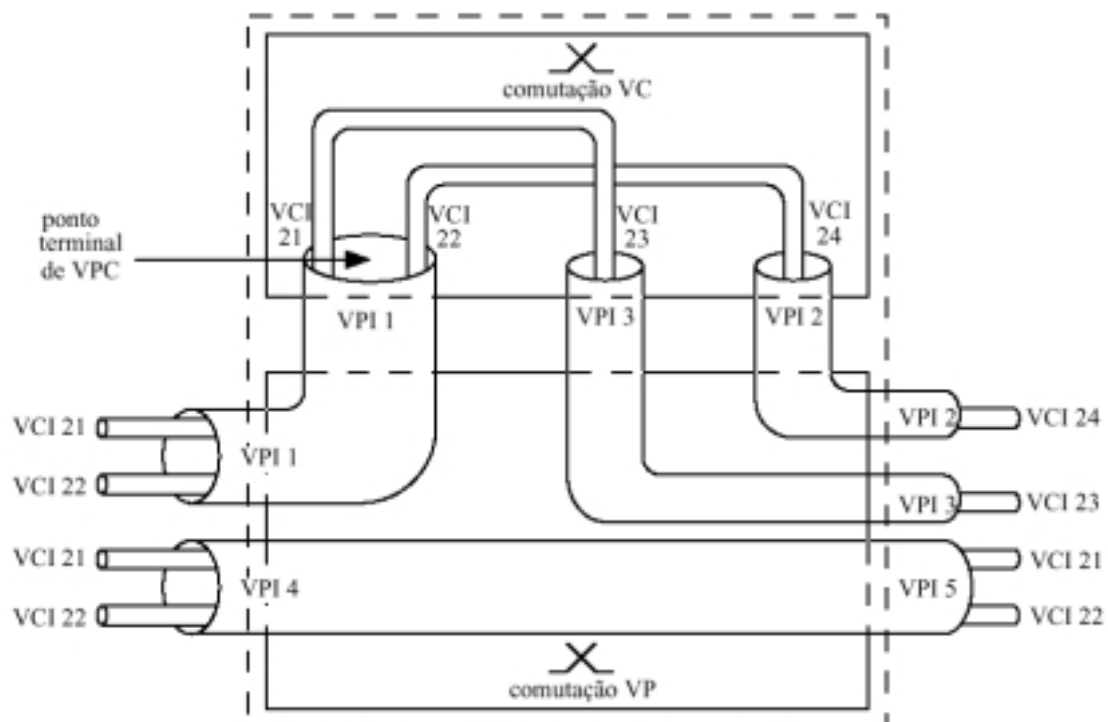
Camada ATM

- » As principais funções da camada ATM são a multiplexagem e a comutação de células de diferentes conexões virtuais
- » Células de uma mesma conexão transportam um identificador comum, que tem significado local em cada interface e que, por essa razão, é normalmente alterado no processo de comutação
- » O identificador de conexão é estruturado em duas partes
 - VPI – *Virtual Path Identifier*
 - VCI – *Virtual Channel Identifier*
- » O conceito de Trajecto Virtual (VP - *Virtual Path*) permite agrupar Canais Virtuais (VC - *Virtual Channels*), que podem ser comutados em conjunto
 - Numa rede ATM existem dois tipos de comutadores – de Trajectos Virtuais (apenas processam o VPI) e de Canais Virtuais (processam VPI e VCI)

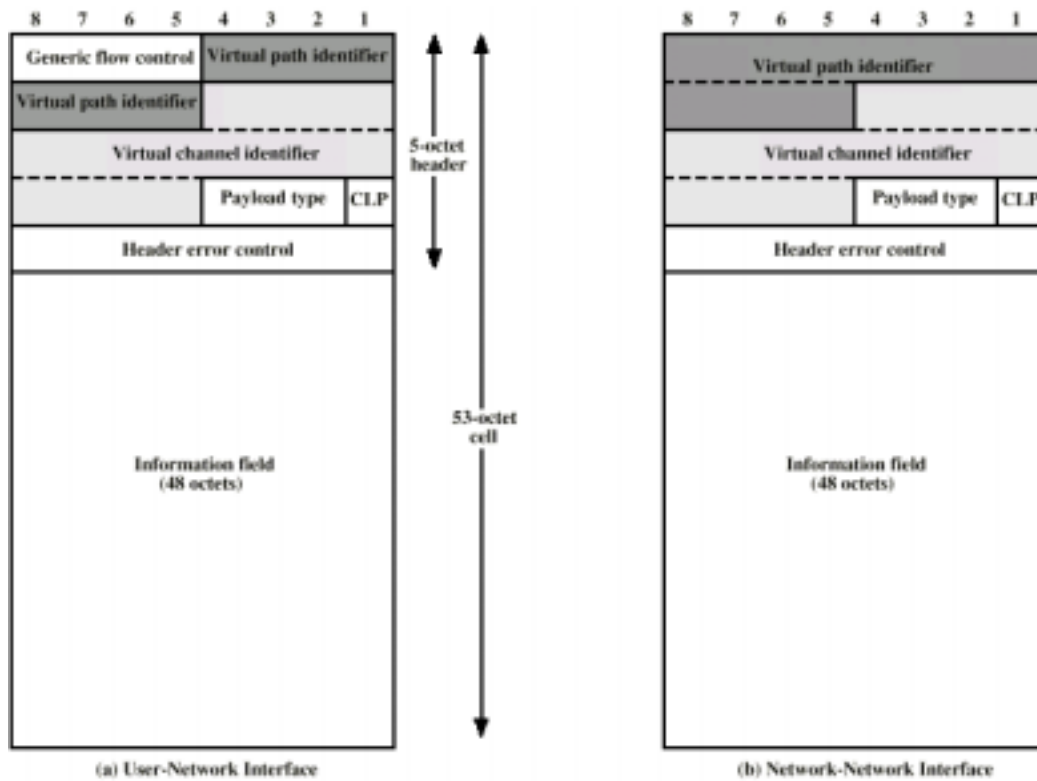
Comutador de VP



Comutador de VP e VC



ATM - Formato das Células



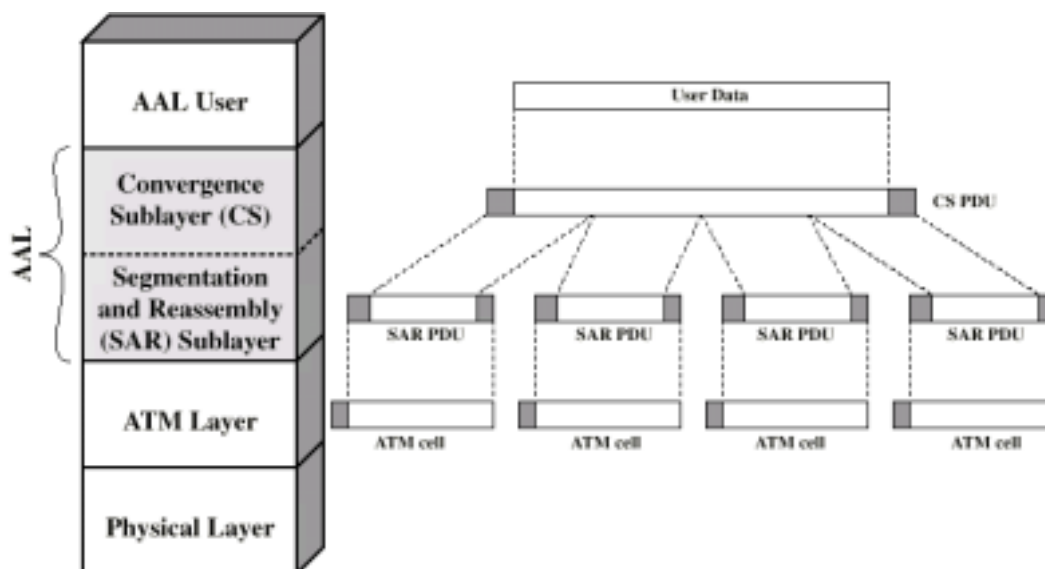
Camada AAL – ATM Adaptation Layer

- » A camada AAL acrescenta funcionalidade aos serviços fornecidos pela camada ATM, de forma a satisfazer diferentes requisitos das camadas superiores
- » A diversidade de aplicações e respectivos requisitos impõe a necessidade de diferentes protocolos AAL, que são realizados extremo a extremo, em *hosts* ATM ou em elementos de rede – *bridges* e *routers* – que usam ATM para comunicar entre si (e.g., emulação de LANs em ATM e IP sobre ATM)
- » A camada AAL é dividida em duas sub-camadas
 - CS – *Convergence Sublayer*
 - SAR – *Segmentation and Reassembly Sublayer*
- » Funções da camada AAL (conforme o tipo de protocolo AAL):
 - Empacotamento / Desempacotamento (e.g., amostras de voz, áudio, vídeo)
 - Fragmentação / Reassemblagem - SAR (e.g., pacotes de dados)
 - Multiplexagem / Desmultiplexagem de fluxos AAL sobre uma conexão ATM
 - Recuperação de erros extremo-a-extremo
 - Extracção de relógio de serviço (e.g., emulação de circuitos)
 - Eliminação do *jitter* do atraso (e.g., serviços de tempo real que requerem preservação da relação temporal entre fonte e destino)

Tipos de AAL

- » AAL1 – usado por serviços de débito constante, que requerem recuperação de relógio do serviço (e.g., emulação de circuitos)
- » AAL2 – usado por serviços sensíveis ao atraso que geram tráfego de baixo débito (variável), constituído por pacotes de pequeno comprimento (variável); permite multiplexagem de conexões AAL sobre uma conexão ATM
- » AAL3/4 – usado por serviços de dados; o cabeçalho do SAR PDU inclui um campo MID (*Multiplexing Identification*), que permite multiplexar fluxos de pacotes numa conexão ATM, intercalando fragmentos de pacotes diferentes (multiplexagem ao nível de célula)
- » AAL5 – usado por serviços de dados ou aplicações multimédia; é mais simples e eficiente do que AAL3/4, mas não permite intercalar fragmentos de diferentes pacotes na mesma conexão ATM (a multiplexagem é realizada ao nível de tramas AAL5 e não ao nível de célula); AAL5 é usado em emulação de LANs e em IP sobre ATM

AAL - ATM Adaptation Layer



A figura representa o processo de fragmentação do AAL3/4 (o CS PDU e o SAR PDU contêm um *header* e um *trailer*); o SAR PDU contém 44 octetos resultantes da fragmentação do CS PDU. O processo é simplificado em AAL5; o CS PDU apenas inclui um *trailer* e o SAR PDU não inclui nem *header* nem *trailer*, contendo 48 octetos resultantes da fragmentação do CS PDU.

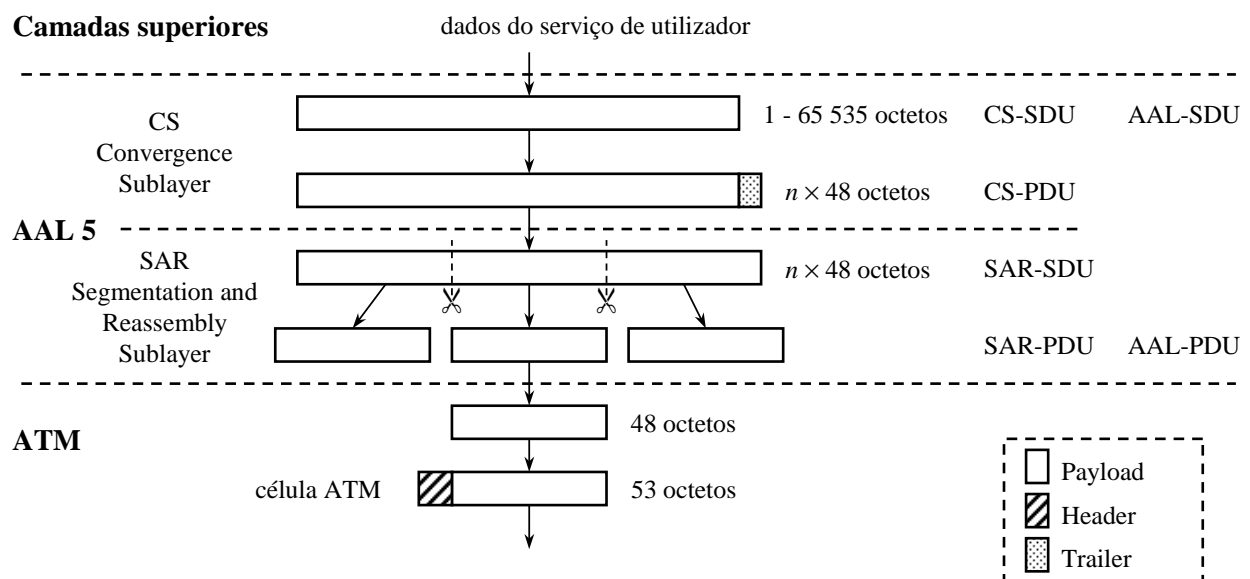
AAL5 - Funções

- ◆ A complexidade e *overhead* do AAL3/4 justificaram a especificação dum protocolo mais simples e mais eficiente (AAL5), embora sacrificando algumas funções
 - » não existe detecção de erros nos SAR-PDUs mas apenas no CS-PDU
 - » não existe a possibilidade de multiplexar fragmentos de diferentes pacotes na mesma conexão ATM (isto é, só é possível a multiplexagem a nível de tramas AAL5 numa conexão ATM)

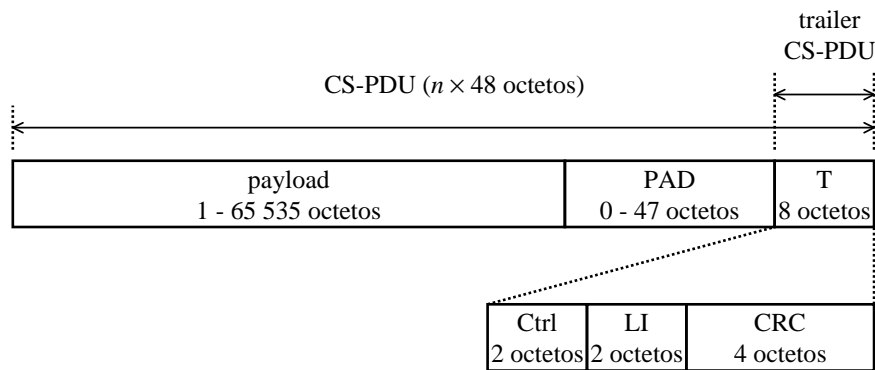
- ◆ O único *overhead* consiste na adição dum *trailer* ao pacote (CS-SDU) submetido ao AAL5 e um eventual *padding* para garantir que a trama AAL5 (CS-PDU) tem um comprimento múltiplo de 48 octetos
 - » não existe qualquer *overhead* nos SAR-PDUs

- ◆ A delimitação dum CS-PDU é realizada com recurso ao bit 2 do campo PT (*Payload Type*) no cabeçalho das células ATM
 - » este bit assume o valor 1 na célula que contém o último SAR-PDU de uma trama AAL5

AAL5 - operação



AAL5 – CS-PDU



T	Trailer	Ctrl	Control	funções de controlo
		LI	Length Indicator	comprimento do campo de carga, excluindo PAD
		CRC	Cyclic Redundancy Check	protege os campos restantes
PAD	Padding	preenchimento variável, de modo que o total de octetos de CS-PDU seja múltiplo de 48		

O campo de controlo (Ctrl) divide-se em

- UUI – User-to-User Information (um octeto)
- CPI – Common Part Indicator (um octeto), para interpretação dos restantes campos do *trailer*

QoS em Redes ATM

- » O ATM Forum especificou uma arquitectura de serviços orientada para o suporte de QoS diferenciada por conexão
- » Essa arquitectura está descrita no documento *ATM Forum Traffic Management* (AF-TM-0121.000) e inclui os seguintes elementos:
 - Parâmetros de QoS
 - Parâmetros de Tráfego
 - Categorias de Serviço
 - Funções de Gestão de Tráfego (*Traffic Management*)

Parâmetros de Qualidade de Serviço

» Cell Loss Ratio (CLR)

- Definido para cada conexão pela relação
$$\text{N}^{\circ} \text{ de células perdidas} / \text{N}^{\circ} \text{ total de células transmitidas}$$

» Maximum Cell Transfer Delay (maxCTD)

- O valor especificado por conexão é o percentil $(1 - \alpha)$ de CTD, isto é
$$p(\text{CTD} > \text{maxCTD}) < \alpha$$
- Para serviços de tempo real, células cujo atraso exceda um certo limite são consideradas como perdidas (inúteis)
- O valor de CLR é usado para especificar um limite superior do valor de α

» Peak-to-peak Cell Delay Variation (peak-to-peak CDV)

- Habitualmente designado por *Delay Jitter*
- É a diferença entre o maxCTD e o valor das componentes fixas do atraso (que determinam o atraso mínimo)

Parâmetros de Tráfego

» Peak Cell Rate - PCR

» Cell Delay Variation Tolerance - CDVT

» Sustainable Cell Rate - SCR

» Maximum Burst Size - MBS

» Minimum Cell Rate - MCR

» Maximum Frame Size - MFS

Parâmetros de Tráfego – PCR, CDVT

» Peak Cell Rate (PCR)

- Informalmente corresponde ao débito máximo instantâneo numa conexão
- É definido como o inverso do intervalo mínimo T entre células sucessivas numa conexão ($PCR = 1 / T$)
- Valores inferiores a T podem ser observados na ligação física, devido a:
 - ◆ Multiplexagem de fluxos no equipamento terminal ou na rede local de acesso, responsável pela introdução de *jitter* (CDV), ou seja, pela alteração da relação temporal entre células
 - ◆ Valores de PCR não serem obrigatoriamente submúltiplos do débito máximo possível na ligação física
- Por estas razões o intervalo T deve ser definido na interface com a camada física, correspondendo a instantes nominais (ideais) de emissão de células sem a influência do *jitter* produzido pela multiplexagem de células de diferentes conexões

» Cell Delay Variation Tolerance

- Para verificação de conformidade por parte da rede, deve ser associado ao valor de PCR uma tolerância (CDVT)
- CDVT é a tolerância concedida a uma célula, se observada antes do respectivo instante esperado de chegada (*Theoretical Arrival Time* - TAT), determinado em relação aos instantes de chegada de células anteriores

Parâmetros de Tráfego - SCR, MBS, BT

» Sustainable Cell Rate (SCR)

- É definido como o limite superior do débito médio de uma conexão

» Maximum Burst Size (MBS)

- Um terminal é autorizado a transmitir instantaneamente com um débito que não pode exceder PCR (ressalvado o CDVT)
- Para garantir que o débito médio na conexão não excede SCR, é necessário limitar os períodos em que a transmissão se realiza com débito igual a PCR
- MBS especifica o número máximo de células (*burst*) que é possível transmitir com um débito igual a PCR
- De forma a verificar a conformidade de um fluxo de células relativamente aos três parâmetros (PCR, SCR, MBS) é habitual definir-se um outro parâmetro - *Burst Tolerance* (BT)

» Burst Tolerance (BT)

- BT representa a máxima antecipação possível de uma célula de um *burst*, relativamente ao seu instante nominal de emissão se a transmissão se realizasse com um débito igual a SCR

Parâmetros de Tráfego - MCR, MFS

» Minimum Cell Rate (MCR)

- Este parâmetro foi inicialmente definido no âmbito da categoria de serviço ABR, mas é igualmente especificado na categoria de serviço GFR
- Nestas categorias de serviço o MCR corresponde ao débito mínimo requerido por uma conexão e que deve ser garantido pela rede, sem prejuízo de poder ser disponibilizado um valor superior (até um valor máximo igual a PCR)
- O MCR pode ser especificado com valor zero

» Maximum Frame Size (MFS)

- Este parâmetro foi definido no âmbito da categoria de serviço GFR
- Nesta categoria de serviço o MFS é o tamanho máximo das tramas AAL5 especificado por conexão

Categorias de Serviço ATM

- » O ATM Forum definiu um conjunto de categorias de serviço com o objectivo de relacionar características de tráfego e requisitos de QoS com o comportamento da rede, que é determinado pelos respectivos mecanismos de controlo de tráfego e pelas estratégias de reserva e atribuição de recursos
- » As seis categorias de serviço especificadas são caracterizadas por um número reduzido de parâmetros de tráfego e de QoS
 - Constant Bit Rate - CBR
 - real time Variable Bit Rate - rt-VBR
 - non real time Variable Bit Rate - nrt-VBR
 - Unspecified Bit Rate - UBR
 - Available Bit Rate - ABR
 - Guaranteed Frame Rate - GFR

Categorias de Serviço ATM

Attribute	ATM Layer Service Category					
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR	GFR
Traffic Parameters:						
PCR, CDVT	Specified		Specified	Specified	Specified	
SCR, MBS	n/a	Specified		n/a		
MCR	n/a			Specified	n/a	
MCR, MBS, MFS, CDVT	n/a				Specified	
QoS Parameters:						
Peak-to-peak CDV	Specified		Unspecified			
MaxCTD	Specified		Unspecified			
CLR	Specified		Unspecified			
Other Attributes:						
Feedback	Unspecified			Specified	Unspecified	

Funções de Controlo de Tráfego

- » O ATM Forum identificou um conjunto de funções genéricas de Controlo (Gestão) de Tráfego, que deverão ser suportadas em diferentes elementos de rede - equipamento terminal, nós de acesso e nós internos da rede
 - Connection Admission Control - CAC
 - Feedback Control
 - Usage Parameter Control - UPC
 - Cell Loss Priority Control
 - Traffic Shaping
 - Network Resource Management
 - Frame Discard