

Capítulo 10

Redes de transporte de datos

As máquinas podem se comunicar, trocar dados ou transmitir bits de maneira assíncrona ou síncrona.

Na transmissão assíncrona, o intervalo entre uma informação e outra é imprevisível, daí o termo “assíncrona”, ou seja, intermitente. Criado para enviar caracteres conforme fossem teclados por operadores de telex, esse modo de transmissão consiste em inserir um símbolo no início e no fim da mensagem a ser enviada. Ele não atende a transmissões velozes, que implicam bits mais estreitos, ou seja, que duram menos tempo.

Na transmissão síncrona, as referências de tempo (relógio) do transmissor e do receptor precisam ser idênticas. É necessário um mecanismo de controle dos pulsos do relógio.

10.1 Rede PDH (hierarquia digital plesiócrona)

Limitações técnicas impediram que os primeiros sistemas multiplex fossem realmente síncronos, ou seja, eram quase síncronos ou plesiócronicos. Uma máquina que multiplexa os enlaces E1 nessa rede trabalham com sinais gerados por equipamentos diferentes, cujo ritmo do sinal de saída pode estar ligeiramente diferente de 2,048 Mbps (mais rápido ou mais lento). Por isso, para que todos os enlaces estejam no mesmo ritmo, é preciso inserir bits de justificação, que serão descartados na demultiplexação dos enlaces E1. Esse processo é conhecido como operação plesiócrona (do grego *plésios* = próximo e *kronos* = tempo). Os problemas de sincronismo ocorrem em todos os níveis da hierarquia TDM, de maneira que em todos os estágios é necessária a justificação.

Com o avanço da tecnologia e a demanda por serviços de transmissão de dados, a rede PDH, projetada para atender apenas à telefonia, foi se tornando obsoleta, devido a sua estrutura de funcionamento.

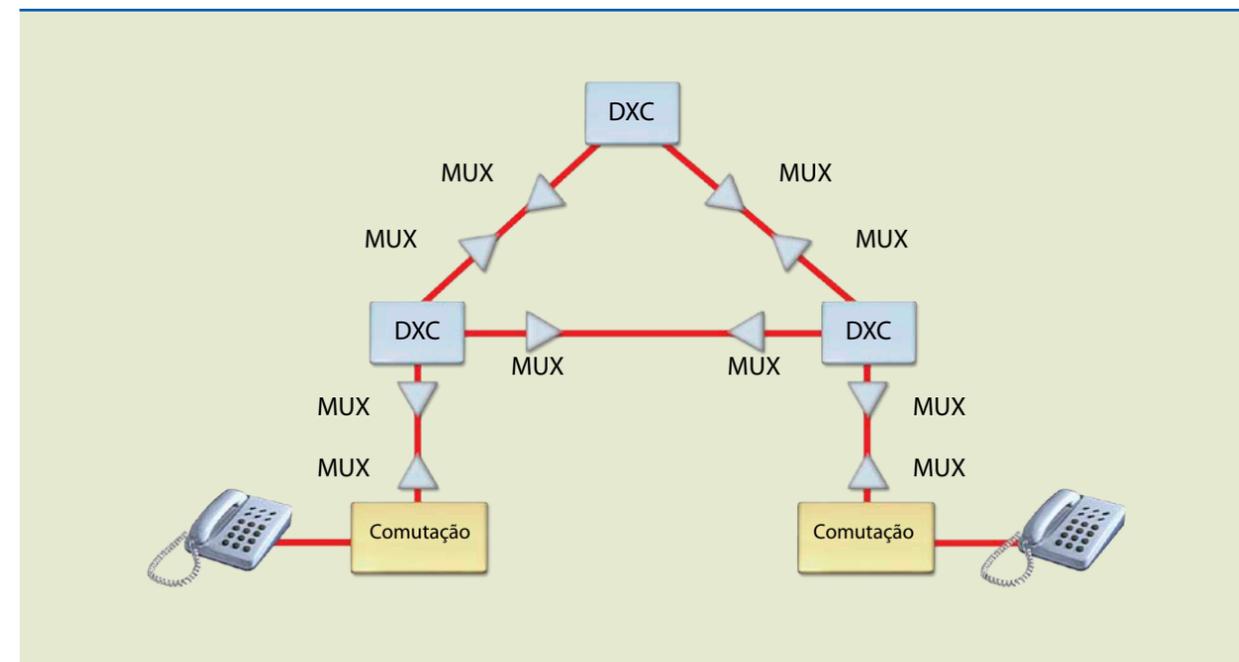
Nas redes existentes, costuma-se usar a tecnologia de transmissão ponto a ponto para comutação de redes ou localidades de clientes. Por exemplo, um sinal a 64 kbps deve ser multiplexado até 2 Mbps e, após outros estágios de multiplexação, até 140 Mbps utilizando multiplexador (MUX) terminal. Entretanto, para comutar esse sinal de 64 kbps, todo o sinal de 140 Mbps deve ser demultiplexado. Para isso, é necessário um conjunto de multiplexadores em cada ponta do enlace de transmissão.

Tal situação também é observada em sistemas de transmissão por fibras ópticas. Esse arranjo se torna bastante caro quando, na prática, apenas alguns sinais de 64 kbps necessitam ser comutados.

A figura 10.1 apresenta uma aplicação para esse sistema.

Figura 10.1

Rede de transporte PDH.



Caso um cliente não necessite mais de um dos serviços oferecidos, o reprovionamento e o roteamento consumiriam muito tempo e dinheiro, uma vez que os equipamentos teriam de ser realocados ou substituídos. Mesmo com sistemas de *cross-connect digital* (DXC), o roteamento de circuitos pode levar de alguns minutos a horas, dependendo dos métodos de controle.

Em resumo, os dois principais problemas da rede PDH são a dificuldade de identificar um enlace E1 específico em uma torrente de bits de alta velocidade e uma estrutura de quadro sem espaço para inclusão de informações de gerenciamento da rede.

Com a rede SDH, vista a seguir, toda a alocação de sinais e o roteamento da transmissão passam a ter controle centralizado, tornando simples o roteamento ou o reprovionamento de circuitos.

10.2 Rede SDH (hierarquia digital síncrona)

Os sistemas síncronos podem ser encarados como o último estágio na hierarquia de transmissão, possibilitando a inserção e extração de enlaces sem a necessidade de demultiplexação. Em uma rede com perfeito sincronismo entre os enlaces, é possível saber exatamente a que enlace pertence cada bit, além de quando começa e termina o enlace, por meio de um gerenciamento centralizado da rede.

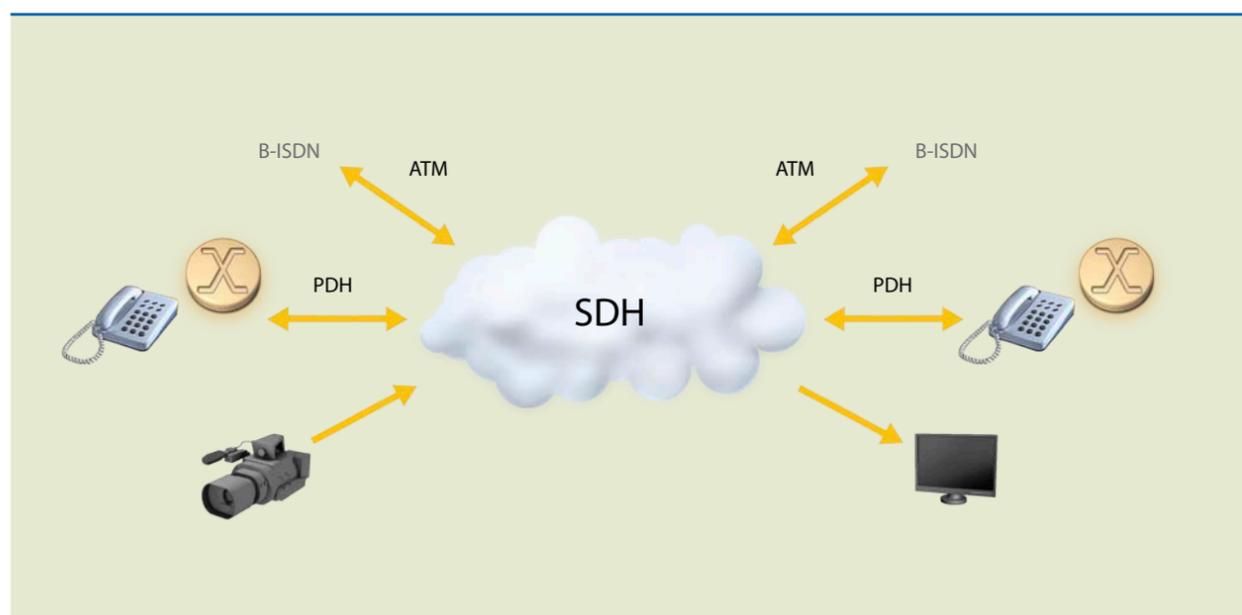


Os estudos sobre rede síncrona iniciaram-se na década de 1980 pela Bellcore, nos Estados Unidos, com o objetivo de criar uma interface-padrão para os sistemas de comunicação ópticos. A primeira rede, a SONET, tinha estrutura de quadro básica e taxa de 51,84 Mbits/s, apropriada para o transporte de sinais com taxa de 44,736 Mbits/s (DS3).

Em 1986, o ITU-T passou a realizar pesquisas com a finalidade de criar um padrão mundial para os sistemas de transmissão síncrona que proporcionasse aos operadores uma rede mais flexível e econômica. Surgiu, então, a rede SDH, que possui um quadro básico com estrutura/capacidade de transporte três vezes superior à SONET e com capacidade de transporte apropriada para o sinal E4 (139,264 Mbits/s).

Figura 10.2

Rede de transporte SDH.



Em relação à hierarquia PDH, a SDH apresenta as seguintes vantagens:

- **Melhor gerenciamento da rede** – Possibilita usar a rede de modo mais eficiente e fornecer melhores serviços aos usuários. Podem ser implementados conceitos de *telecommunications management network* (TMN).
- **Provisionamento mais rápido** – Como novos serviços podem ser definidos por meio de *softwares*, o provisionamento se dá de maneira muito mais rápida. A única nova conexão necessária estará entre as dependências do cliente e o nó de acesso à rede mais próximo.
- **Melhor utilização da rede** – Com total controle do roteamento, os circuitos dos usuários podem ser configurados a fim de obter melhor otimização dos recursos da rede.
- **Disponibilidade da rede** – Com a possibilidade de rerroteamento da rede em tempo real, o sistema de suporte à operação da rede é capaz de eliminar

uma falha com a reprogramação das rotas. Os sistemas de proteção automática padronizados cuidam das falhas mais simples.

- **Atendimento a serviços futuros** – Serviços futuros de alta capacidade e sob demanda, ainda não padronizados, podem ser facilmente transportados na rede SDH. Em razão do total controle sob a alocação de recursos da rede, há facilidade de acesso aos tributários e criação de novos processos de mapeamento.

10.2.1 Capacidade de transporte da SDH

A SDH foi projetada para que suportasse a transmissão de quase todo o conjunto de sinais existentes ou dos mais importantes, nas atuais redes de comunicação. Entre os muitos sinais que já possuem o mapeamento definido estão:

- 2, 34, 140 Mbits/s.
- DS1, DS2, DS3 (EUA).
- ATM.
- FDDI
- DQDB.

No Brasil, as interfaces dos sinais FDDI e DQDB ainda não estão padronizadas, e os sinais DS1, DS2 e DS3 não serão padronizados por serem da hierarquia PDH norte-americana.

É importante enfatizar que, por causa das estruturas de transporte que a SDH possui, acredita-se que todo e qualquer sinal que possa vir a aparecer nos sistemas de telecomunicações poderá ser transportado pela SDH.

10.2.2 Módulo de transporte síncrono (STM)

Um quadro qualquer dentro do fluxo de bits pode ser representado por um mapa bidimensional, que possui N linhas e M colunas de caixas. Cada caixa representa um único byte dentro do sinal síncrono. O byte de enquadramento aparece no topo esquerdo do mapa, atuando como marcador, o que permite que qualquer byte no quadro seja facilmente localizado.

Os bits do quadro são transmitidos em sequência a partir da primeira linha da esquerda para a direita. Após a transmissão do último byte do quadro (byte localizado na linha N/coluna M), a sequência inteira se repete desde o byte de enquadramento do quadro seguinte.

Na SDH, há uma estrutura básica de transporte de informação denominada módulo de transporte síncrono – 1 (STM-1 – *synchronous transport module – 1*), com taxa de 155,520 Mbits/s. Essa estrutura define o primeiro nível da hierarquia. As taxas de bit dos níveis superiores são múltiplos inteiros do STM-1.

Atualmente estão padronizados três módulos de transporte: STM-1, STM-4 e STM-16 (figura 10.3). A especificação de níveis superiores a 16 ainda está em estudo.



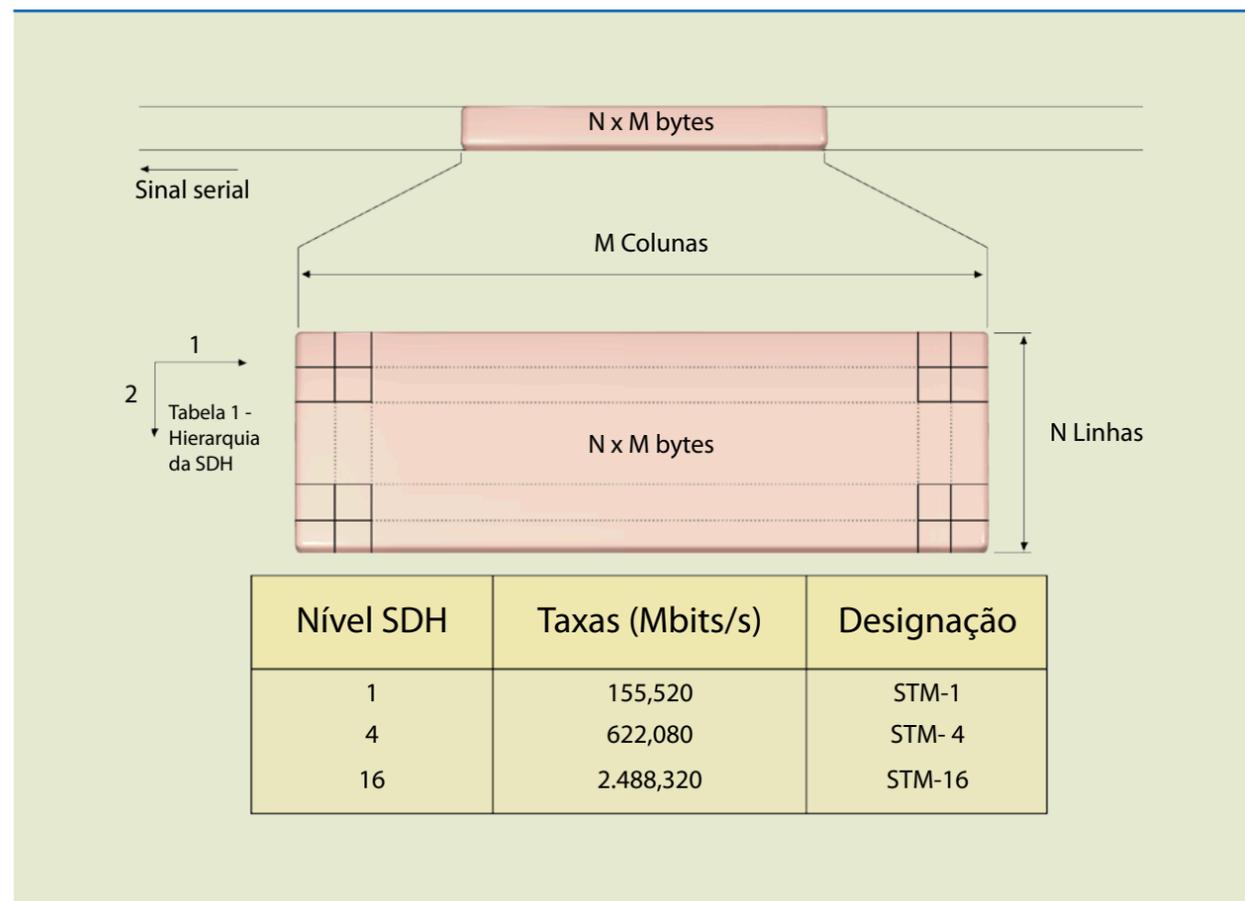


Figura 10.3

Módulo de transporte síncrono SDH.

Para o sistema STM-1, estão definidas interfaces para transmissão por fibras ópticas e sistema rádio; para os sistemas STM-4, STM-16 e todos os níveis hierárquicos superiores, apenas interfaces para transmissão por fibras ópticas.

Há também uma estrutura de quadro com capacidade de transmissão mais baixa que a do STM-1, exclusivamente para uso em sistemas rádio e satélite. Denominada STM-0, essa estrutura possui taxa de 51,840 Mbits/s e não é considerada um nível hierárquico da SDH.

10.2.3 Estrutura de quadro do STM-1

A estrutura básica do quadro do STM-1, representada na figura 10.3, consiste de nove linhas de 270 bytes, lidos da esquerda para a direita e de cima para baixo. Esse quadro possui as seguintes características:

- Comprimento total: 2 430 bytes.
- Duração: 125 μ s (frequência de repetição: 8 kHz).
- Taxa de bit: 155,520 Mbit/s.

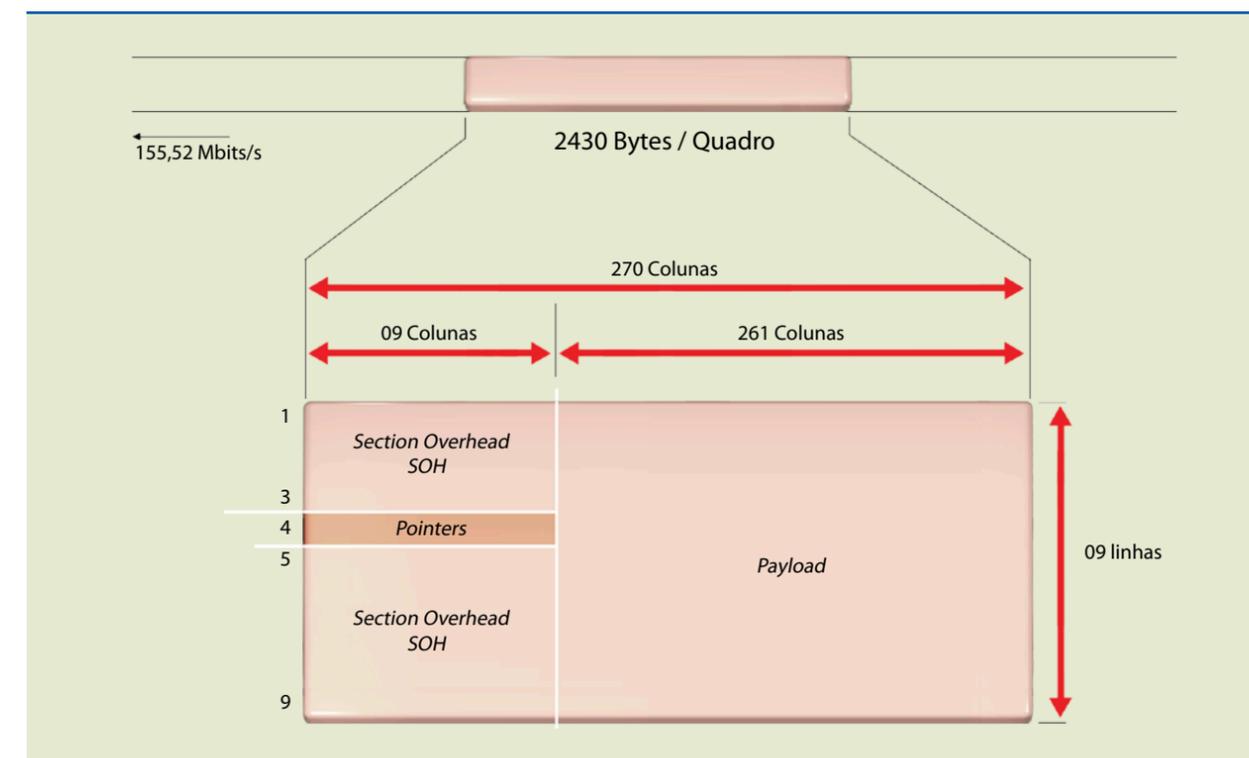
Na SDH, os quadros se repetem a uma taxa de 8 000 quadros/s. Logo, 1 byte dentro do quadro representa uma largura de faixa de 64 kbits/s, que é a taxa de um canal de voz PCM.

A estrutura de quadro do STM-1, conforme mostra a figura 10.4, possui três áreas principais:

- **Section overhead (SOH)** – Localiza-se nas linhas 1 a 3 e 5 a 9 das colunas 1 a 9.
- **Ponteiro** – Situa-se na linha 4 e colunas 1 a 9.
- **Payload** – É aqui que será efetivamente carregada a carga útil. Ocupa as linhas 1 a 9 das colunas 10 a 270.

Figura 10.4

Estrutura de quadro do STM-1.



O *section overhead* ocupa as primeiras nove colunas do quadro em um total de 81 bytes. As 261 colunas restantes, em um total de 2 349 bytes, são alocadas para o *payload*. Isso garante uma capacidade de 150,34 Mbits/s na estrutura do STM-1 para transporte de sinais tributários (os diferentes sinais de entrada).

10.2.4 Princípios de transporte e multiplexação na rede SDH

O princípio do transporte de sinais digitais na rede SDH baseia-se na divisão da capacidade de transporte associada ao *payload* do quadro STM-N em contêineres virtuais (VCs – *virtual containers*) de ordem superior (alta capacidade) e de ordem inferior (baixa capacidade). Estes se chamam “contêineres” porque carregam a informação dos usuários da rede como carga útil e “virtuais” porque são entidades lógicas que existem apenas no quadro STM-N. A nomenclatura “ordem superior/inferior” refere-se à relação servidor/cliente que existe na SDH, dividindo a rede em camadas de via de ordem superior e de ordem inferior. Os VCs de ordem superior transportam os VCs de ordem inferior; são, portanto, servidores em relação a eles.



Os VCs são ainda divididos em áreas destinadas ao transporte do tributário que será transmitido, chamadas contêineres – C, e de um *overhead* de supervisão, denominado POH, que acompanha o tributário desde o ponto no qual ele é inserido na rede SDH até o ponto no qual é retirado dela (figura 10.5).

Figura 10.5
Multiplexação na rede SDH.

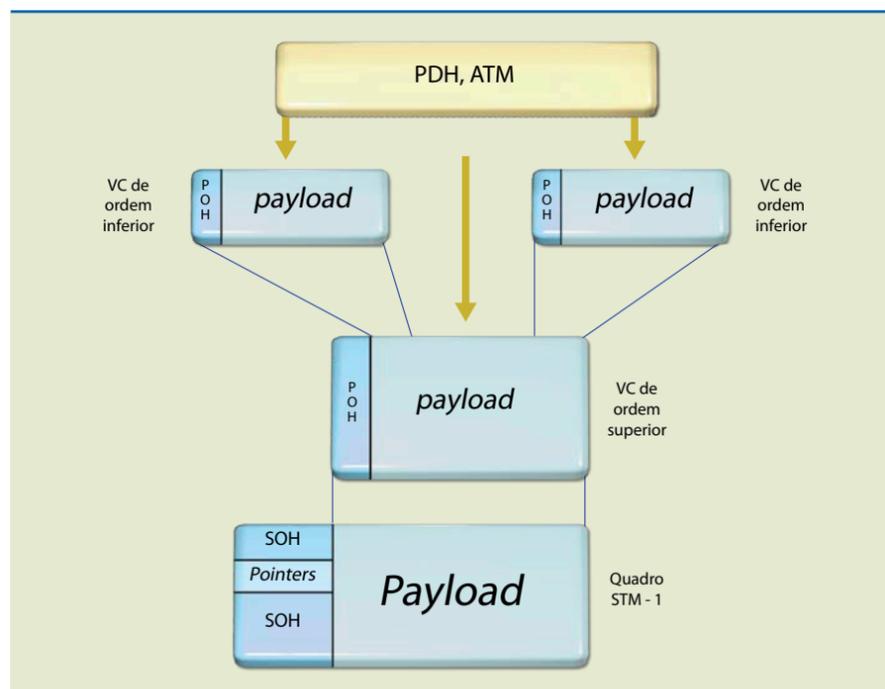
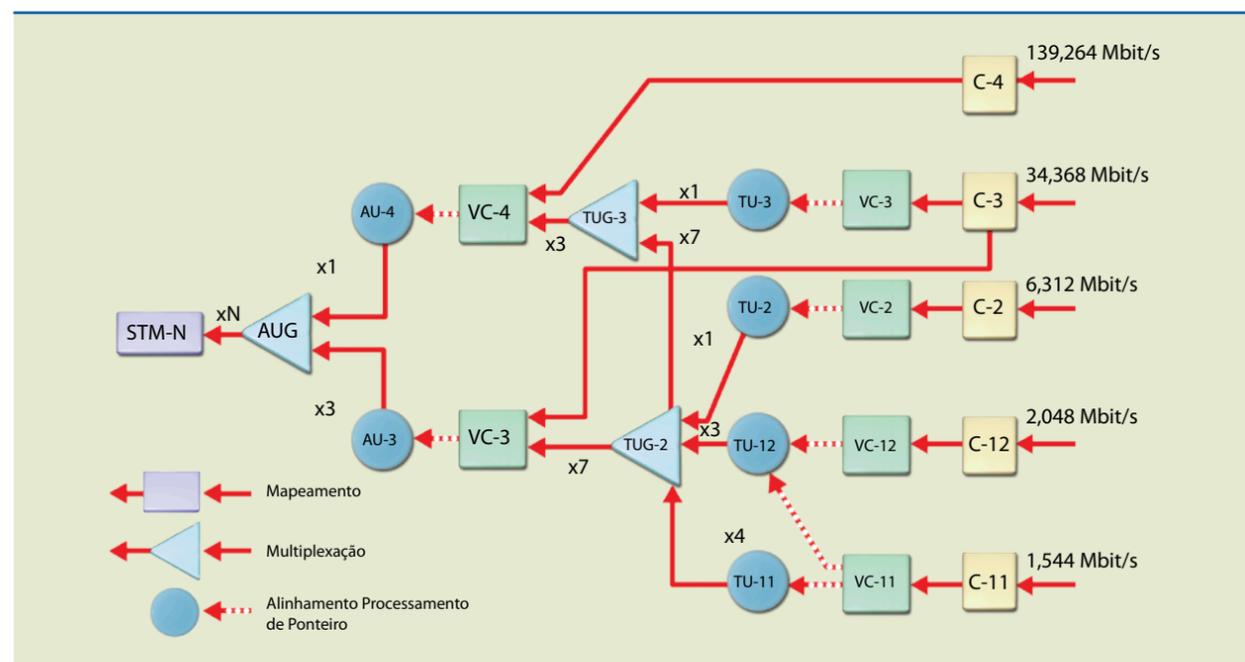


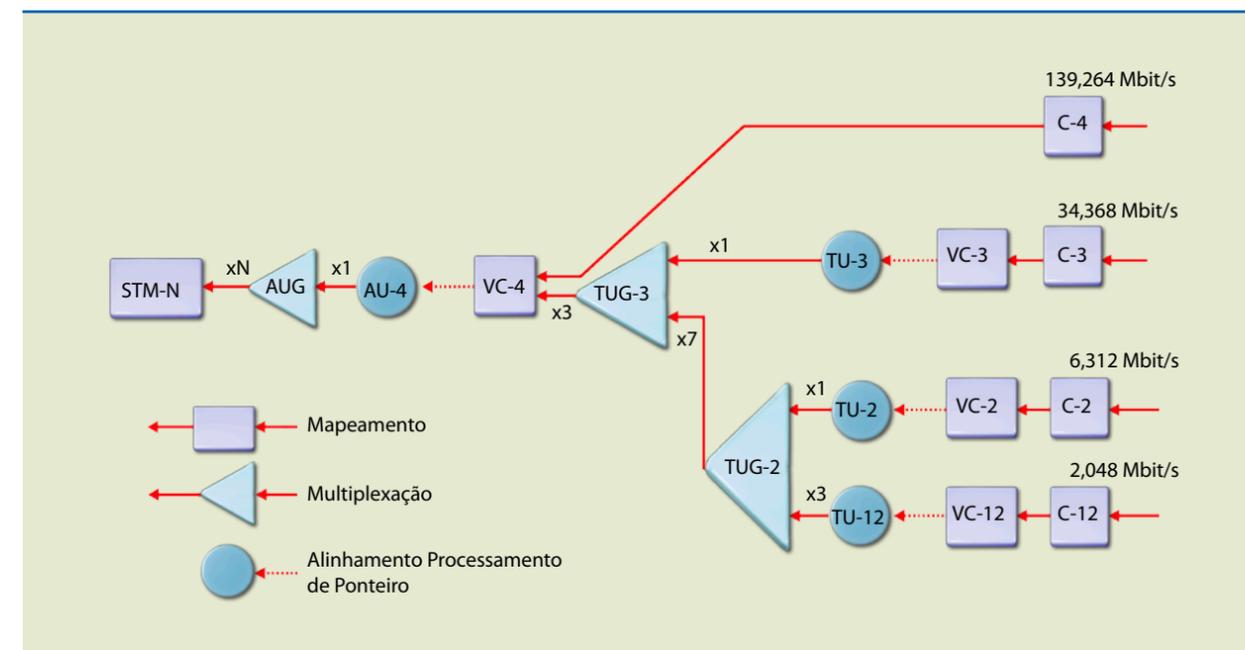
Figura 10.6
Estrutura de multiplexação na SDH.

A hierarquia SDH apresenta a estrutura de multiplexação mostrada na figura 10.6. Essa estrutura foi padronizada pelo ITU e projetada de modo a ser possível transportar os sinais da hierarquia PDH, de maior importância em todo o mundo.



No Brasil, cuja rede PDH baseia-se na PDH europeia, a estrutura de multiplexação é mais simples, pois não são consideradas as interfaces para os sinais tributários DS1 e DS3 (padrão norte-americano). A interface para o sinal DS2 (norte-americano) tem sido estudada para o transporte de novos tipos de serviços para os quais nem sempre são possíveis e adequados os contêineres definidos para as taxas padronizadas na PDH europeia (figura 10.7).

Figura 10.7
Estrutura de multiplexação utilizada no Brasil.



10.2.5 Mapeamento de sinais na SDH

É o processo pelo qual os tributários são adaptados em VCs para serem transportados pela rede SDH. Pode ser considerado o processo que “interfaceia” os sinais digitais que serão transportados pela rede SDH. A adaptação se faz pela sincronização do tributário com a respectiva estrutura de transporte da SDH. Já estão definidos e padronizados pelo STB (*Superior Technologies in Broadcasting*) os mapeamentos dos sinais plesiócronicos de 2, 34 e 140 Mbits/s e o mapeamento de sinais ATM.

Para o mapeamento de sinais plesiócronicos, existe um tipo de contêiner (ou contêiner virtual) apropriado para cada nível hierárquico da PDH, definido pela SDH, que será responsável por seu transporte pela rede SDH. O processo de mapeamento poderá ser assíncrono ou síncrono, dependendo da relação entre os relógios do sinal tributário a ser mapeado e do equipamento SDH que realizará o mapeamento.

O **mapeamento assíncrono** é utilizado quando a referência de relógio do tributário é independente da referência de relógio do contêiner (ou do contêiner virtual). Na prática, ambos os relógios têm uma relação plesiócrona (apesar de possuírem a mesma frequência nominal, variam em torno dela). O mapeamento assíncrono pode ser aplicado em todos os sinais da PDH, definidos na



SDH, e o processo de sincronização se dá pela justificação de bit (da mesma forma que na PDH):

- **Justificação negativa** – Se a taxa de quadro do VC-n for maior que a do AU (unidade administrativa), conforme representado na figura 10.7, será necessário promover uma justificação negativa. O alinhamento de VC deve sofrer avanços periódicos no tempo, e o valor do ponteiro, ser decrementado de um. Essa operação é indicada pela inversão dos bits 8, 10, 12, 14 e 16 (bits D) da palavra do ponteiro, para permitir detecção de maioria de 5 bits na recepção. Três bytes de justificação negativa aparecem nos bytes H3 no quadro de AU-4, que contém os bits D invertidos. Os ponteiros subsequentes conterão o novo valor de *offset*.
- **Justificação positiva** – Se a taxa de quadro do VC-n for menor que a do AU, será necessário promover uma justificação positiva. O alinhamento do VC deve sofrer atrasos periódicos no tempo, e o valor do ponteiro, ser incrementado de um. Essa operação é indicada pela inversão dos bits 7, 9, 11, 13 e 15 (bits I) da palavra do ponteiro, para permitir detecção de maioria de 5 bits na recepção. Três bytes de justificação positiva aparecem imediatamente após o último byte H3 no quadro de AU-4, que contém os bits I invertidos. Os ponteiros subsequentes conterão o novo valor de *offset*.

Para o mapeamento dos sinais PDH de 2 e 34 Mbits/s, utiliza-se a justificação positiva/zero/negativa, uma vez que a capacidade nominal do VC, associada ao transporte de tributários, é igual à taxa de bits nominal dos tributários. Para o mapeamento dos sinais PDH de 140 Mbits/s, usa-se a justificação positiva, uma vez que a capacidade nominal do VC, associada ao transporte de tributários, é maior que a taxa de bits nominal dos tributários.

Para a realização de **mapeamentos síncronos**, é necessário que o relógio do sinal tributário a ser mapeado seja o mesmo do equipamento SDH. Para isso, os tributários são criados como *links*, de canais digitais de 64 kbits/s, para o equipamento SDH. O mapeamento síncrono torna-se muito interessante quando os tributários possuem estrutura de quadro que permita o delineamento de seus canais de 64 kbits/s, como é o caso do sinal de 2 Mbits/s.

10.3 Modelo da rede de transporte

O ITU-T subdividiu a rede de transporte SDH em três camadas:

- Camada de circuito (*circuit layer network*).
- Camada de via (*path layer network*).
- Camada do meio de transmissão (*transmission media layer network*).

Existe uma relação servidor/cliente entre essas camadas, e cada uma delas tem os próprios procedimentos de operação, administração, manutenção e provisionamento.

A **camada de circuito** fornece aos usuários serviços de telecomunicações como comutação de circuitos e de pacotes. Diferentes camadas de circuito podem ser identificadas de acordo com os serviços fornecidos.

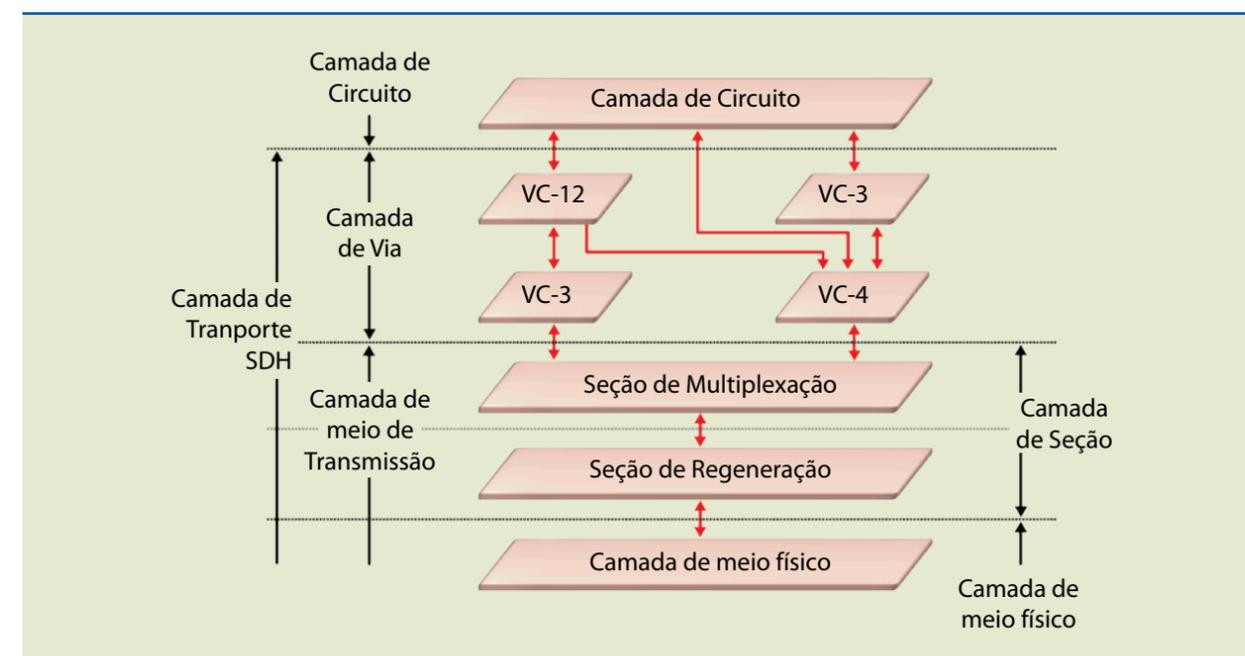
A **camada de via** é utilizada para dar suporte aos diferentes tipos de camadas de circuito. Na SDH, existem dois tipos: a camada de via de ordem inferior (*lower-order path layer network*) e a camada de via de ordem superior (*higher-order path layer network*). A monitoração dessa rede de camada é feita pelo POH (*path overhead*) de ordem inferior ou de ordem superior. A camada de via é responsável pela transmissão do tributário desde o ponto no qual ele é montado em um contêiner (VC-n ou VC-m) até o ponto no qual é desmontado.

A **camada do meio de transmissão** é dividida em camada de seção (*section layer network*) e camada do meio físico (*physical media layer network*). A camada de seção se ocupa de todas as funções para a transferência de informação entre dois nós na camada de via. A camada do meio físico se ocupa do meio de transmissão (fibra óptica, rádio ou par metálico), servindo a camada de seção. Na SDH, existem dois tipos de camada de seção: a de multiplexação, para a transmissão fim a fim da informação entre locais que acessem (roteiem ou terminem) a via, e a de regeneração, para a transmissão de informação entre regeneradores e entre regeneradores e locais que acessem as vias.

A figura 10.8 apresenta a relação das camadas da rede de transporte SDH.

Figura 10.8

Camadas da rede de transporte SDH.



10.4 Arquiteturas SDH

Basicamente há dois tipos de configuração: a rede ponto a ponto e a rede em anel.

10.4.1 Rede ponto a ponto

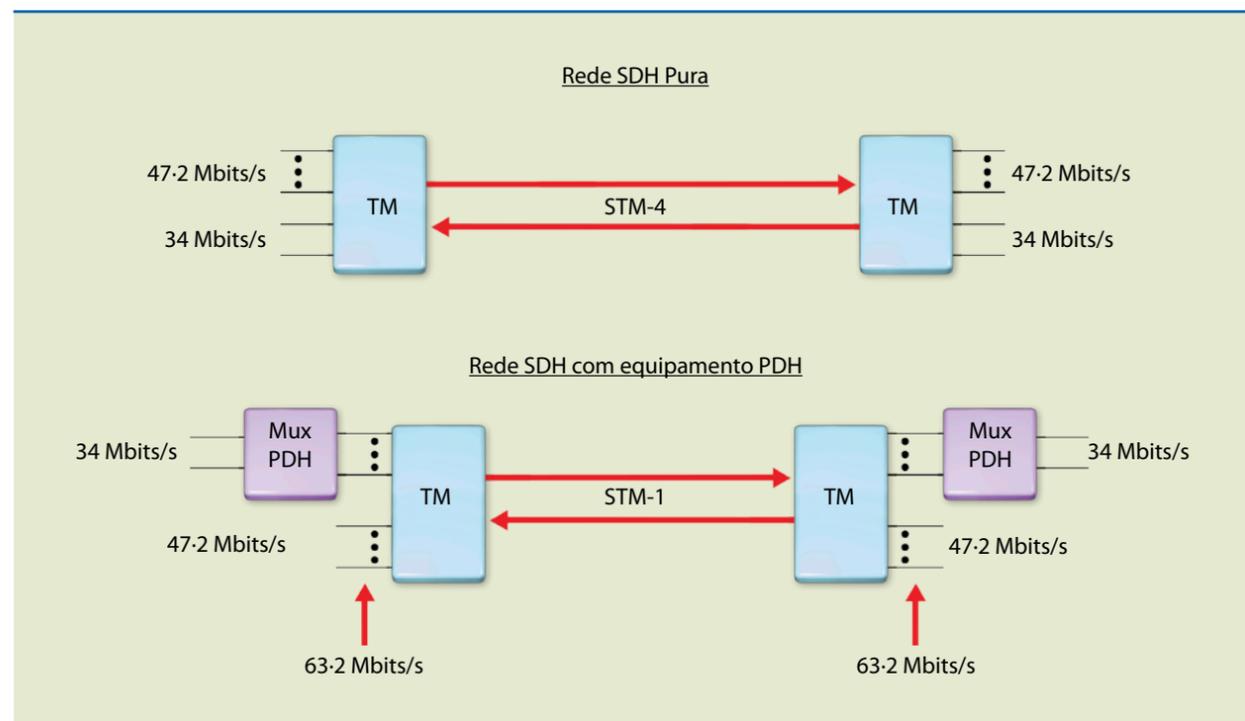
Nessa configuração, dois MUX SDH funcionam como rota de alta velocidade entre duas localidades (figura 10.9). As duas interfaces de saída desempenham as



funções de enlace principal e reserva. Projetados como estações de inserção e extração de tributários, os MUX SDH operam como entrepostos, alterando o conteúdo do sinal do STM-N entre duas estações, conhecidas como ADM (*add and drop multiplexer*).

Figura 10.9

Redes SDH ponto a ponto.



10.4.2 Rede em anel

Nessa configuração, cada nó da rede é conectado a dois nós adjacentes por uma comunicação duplex, formando, assim, uma arquitetura na qual a comunicação entre dois nós não adjacentes passa por nós que não a originaram ou à qual não se destinam.

As redes em anel são classificadas de acordo com o sentido do tráfego e a forma como implementam os mecanismos para o aumento da disponibilidade por meio da estratégia de proteção. Essas duas classificações levam a uma terceira: o número de fibras que formará o anel. São exemplos de redes em anel:

- **Redes unidirecionais/duas fibras** – Nessas redes, o tráfego principal entre nós é transportado em apenas um sentido (horário ou anti-horário) pela fibra principal. A figura 10.10 mostra que o transporte do tráfego principal do nó A para o nó C ocorre no sentido horário, passando pela rota A-B-C, e que o do tráfego do nó C para o nó A também se dá no sentido horário, passando pela rota C-D-A. O tráfego de proteção é transportado no sentido contrário ao do tráfego principal pela fibra de proteção. Os tráfegos principal e de proteção são enviados ao mesmo tempo e a seleção, no nó remoto, do tráfego principal para o de proteção é realizada por meio da monitoração e detecção de alarmes locais no equipamento remoto.

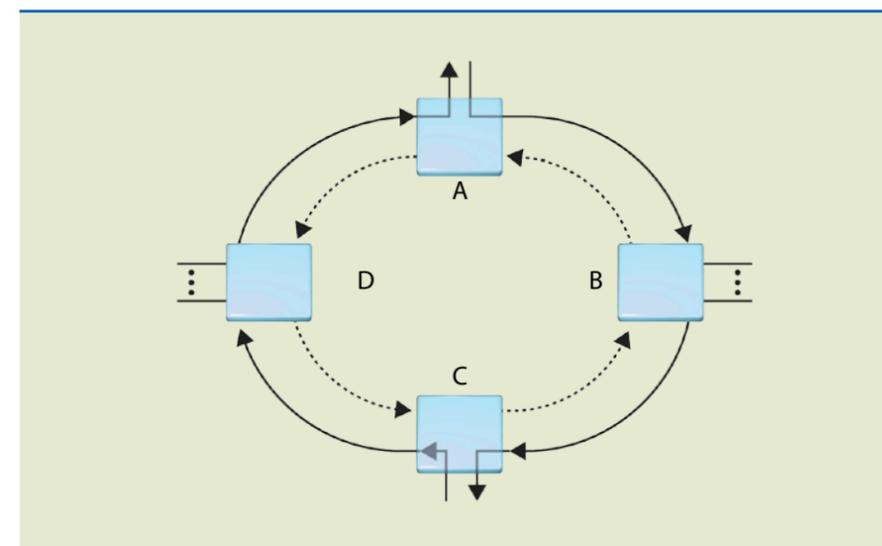


Figura 10.10

Anel unidirecional.

- **Redes bidirecionais/quatro fibras** – Nessas redes, há entre os nós dois pares de fibras, um dedicado ao tráfego principal e o outro dedicado ao tráfego de proteção, além de dois equipamentos ADM (figura 10.11). O par de fibras de proteção poderá ser utilizado para o transporte de tráfego extra não prioritário (será descartado na atuação da proteção).

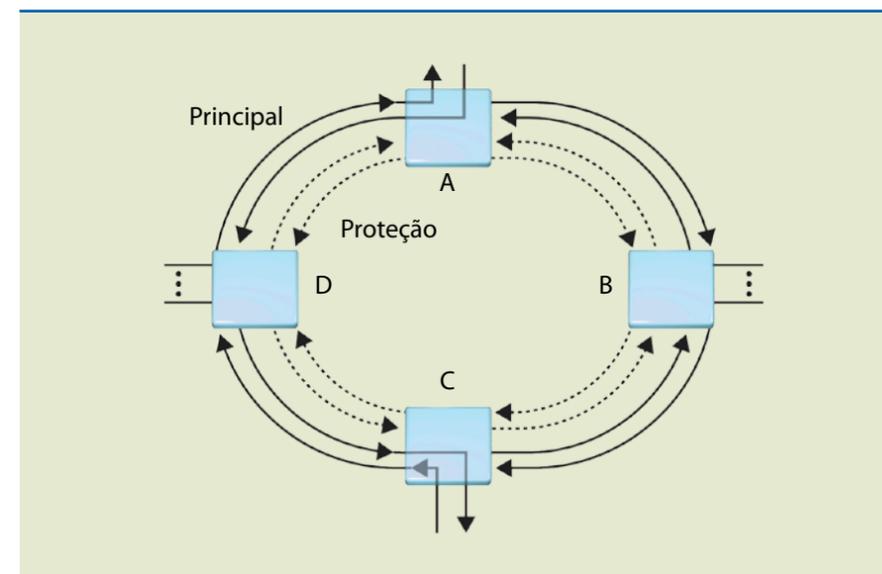


Figura 10.11

Anéis bidirecionais.

As redes em anel e ponto a ponto são as mais comuns, porém também costumam ser utilizadas as configurações em estrela e em malha.

