

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios básicos

Vantagens e limitações da hierarquia SDH

Arquitetura

Estrutura de trama

Princípios de multiplexagem

Operação e manutenção

Redes SDH

Aplicação de sistemas SDH na rede de transporte

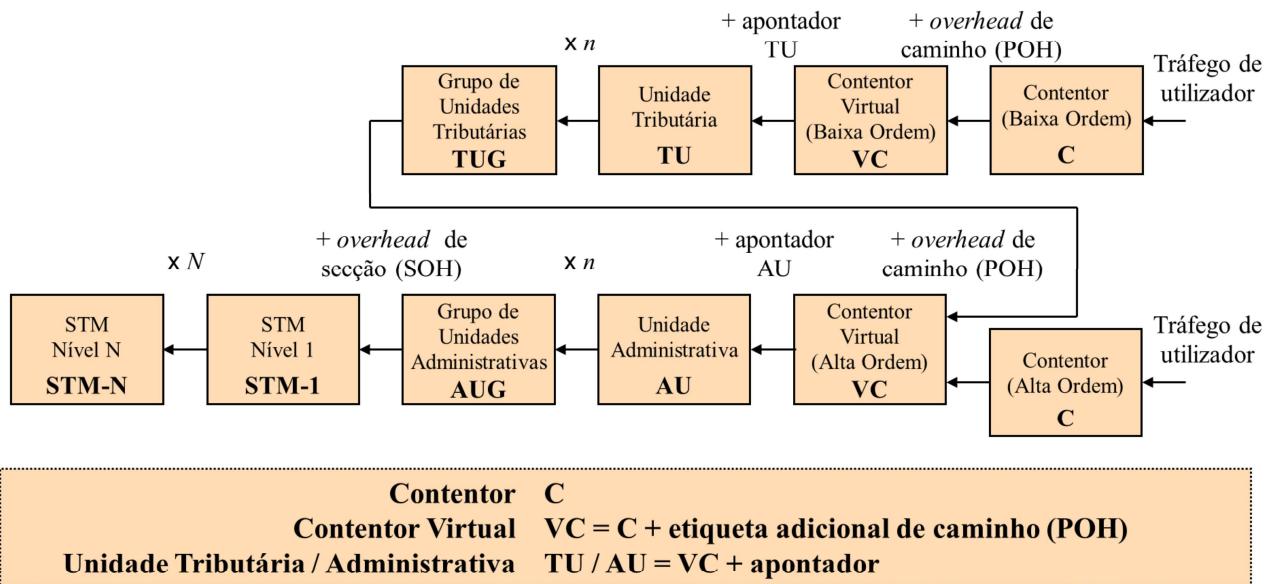
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Estruturas de multiplexagem



Estruturas de multiplexagem

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

O mapeamento da informação no módulo básico STM-1 assenta em estruturas constituídas a partir da assemblagem dos dados de utilizador nos chamados contentores.

A figura mostra a cadeia de assemblagem em contentores e unidades com capacidade crescente até chegarmos ao sinal STM-1, composto por uma ou mais unidades administrativas. Note-se que o tráfego de utilizador pode ser transportado diretamente multiplexado em contentores de Baixa Ordem ou de Alta Ordem, conforme se ilustra na figura.

Conforme já vimos no slide 33, um contentor é combinado com o *overhead* de caminho (POH) para formar um VC de Baixa Ordem ou um VC de Alta Ordem.

Um VC de Baixa Ordem pode ser transportado numa Unidade Tributária (TU), juntando-lhe um apontador TU que permite a localização do VC de Baixa Ordem diretamente na trama STM-1. Várias TUs formam o que se chama um grupo de unidades tributárias (TUG), sendo que a um TUG não é adicionado qualquer *overhead*.

Um TUG pode depois ser transportado num VC de Alta Ordem. Um VC de Alta Ordem é transportado num Unidade Administrativa (AU), juntando-lhe um apontador AU que permite localizar o VC de Alta Ordem diretamente na trama STM-1. As AUs podem ainda ser agrupadas num grupo de unidades tributárias (AUG), ao qual é adicionado o *overhead* de secção (RSOH e MSOH) para formar a trama STM-1 apresentada no slide 36.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Processos chave envolvidos

Mapeamento	<ul style="list-style-type: none"> insere tributários nos contentores virtuais preparando a multiplexagem síncrona introduz bits de justificação para adaptar diferenças de débitos acrescenta adicional de caminho (POH)
Alinhamento	<ul style="list-style-type: none"> localiza a posição do primeiro octeto de um VC num TU ou AU coloca um apontador no TU ou AU para essa posição
Multiplexagem	<ul style="list-style-type: none"> agrega múltiplos sinais de baixa ordem numa estrutura de alta ordem agrega múltiplos sinais de alta ordem num módulo de transporte
Preenchimento (stuffing)	<ul style="list-style-type: none"> introduz octetos de justificação para ajustar posição de VCs num TU ou AU e adaptar flutuações de débitos

Sistemas de Telecomunicações

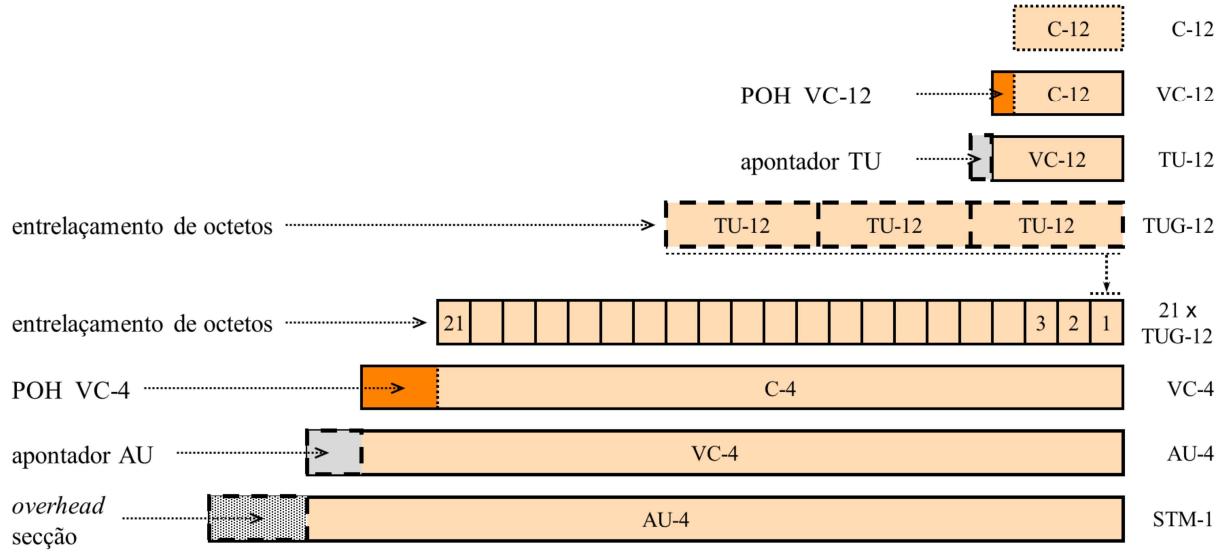
Sistemas de Multiplexagem Digital

Introdução de bits de justificação permite compensar diferenças de débitos nos sinais de baixa ordem. Quando existem flutuações de débito, são introduzidos bits nulos ou de justificação para compensar essas flutuações.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Exemplo de multiplexagem



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

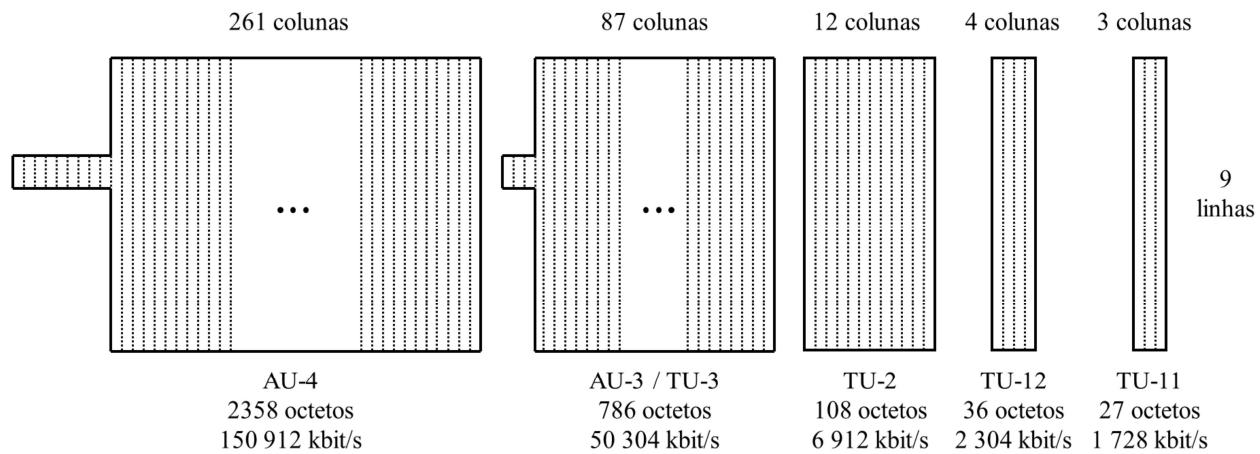
Exemplo de multiplexagem seguindo a cadeia de assemblagem apresentada no slide 39.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Estrutura de Unidades Tributárias e Unidades Administrativas

- dimensão de 9 linhas e um número inteiro de colunas (AU-4 e AU-3/TU-3 contêm mais **alguns octetos para apontadores e área de justificação**)



Estrutura de Unidades Tributárias e Unidades Administrativas

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

A informação nas **Unidades Administrativas (AU)** e **Unidades Tributárias (TU)** é estruturada num número inteiro de colunas de 9 linhas de modo a facilitar o processo de multiplexagem no módulo STM-1 de 270 colunas x 9 linhas.

As **unidades administrativas (AU)** são usadas para transportar sinais de **alto débito**.

Uma AU pode ser depois dividida para suportar sinais de mais baixa débito, cada um deles numa unidade tributária (TU).

Existem vários tamanhos de TU. Por exemplo, uma TU-12 permite transportar um sinal E1 (2 048 kbit/s).

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores

- multiplexagem **sem apontadores**

- [+]** • memórias elásticas de alinhamento de VCs nas interfaces de assemblagem
- [−]** • introduz atrasos excessivos

- multiplexagem **com apontadores estáticos**

- [+]** • permite ajustes de fase fixos
- requer memórias de absorção de flutuações de relógios: atraso moderado
- [−]** • não suporta relógios não sincronizados – ocorrem escorregamentos

- multiplexagem **com apontadores dinâmicos**

opção adotada em **SDH**

- [+]** • suporta variações de fase ou mesmo relógios não sincronizados (plesiócronos)
- qualquer estrutura pode flutuar relativamente àquela em que está contida
- requer pequenas memórias elásticas: atraso introduzido reduzido

Sistemas de Telecomunicações

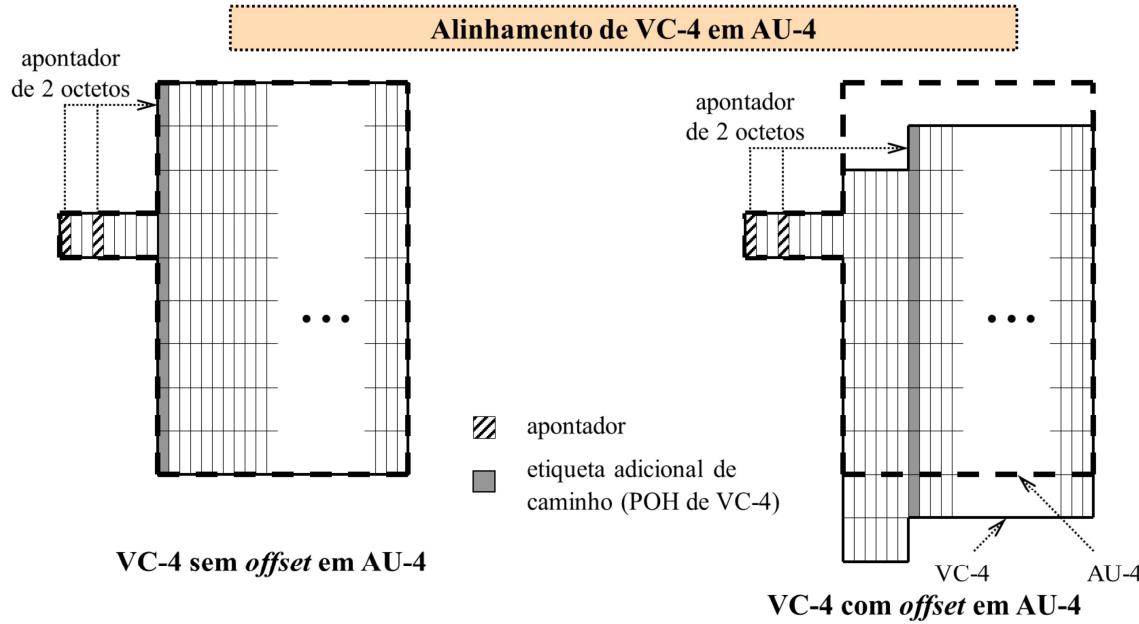
Sistemas de Multiplexagem Digital

A introdução de memórias elásticas implica necessariamente atrasos. Caso sejam necessárias memórias grandes para alinhamento de VCs teremos atrasos excessivos.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores



Sistemas de Telecomunicações

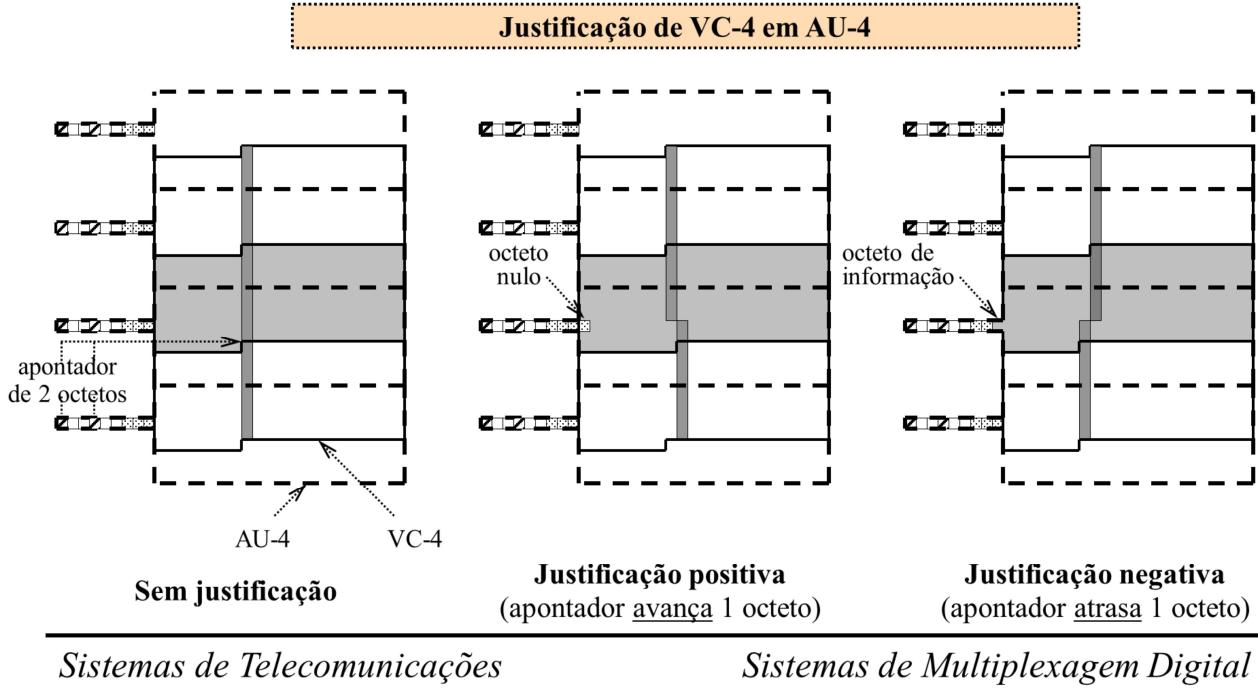
Sistemas de Multiplexagem Digital

Assim, a utilização de apontadores permite que os VCs comecem em qualquer ponto da estrutura que os contém (TU/AU), ocupando geralmente dois módulos contíguos.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores



A justificação serve para compensar

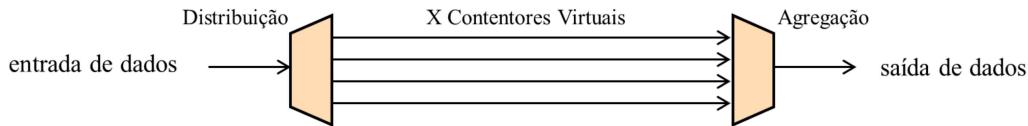
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Concatenação virtual

SDH de nova geração

- dados de utilizador são **distribuídos por diversos contentores**, transmitidos em módulos STM e agregados na receção (multiplexagem inversa)
- possível utilizar protocolos de ajuste dinâmico da capacidade, permitindo maior eficiência para serviços de dados (LCAS – *Link Capacity Adjustment Scheme*)



Multiplexagem inversa para concatenação virtual de contentores

Contentor	Capacidade (kbit/s)	Exemplos: ligações Ethernet
VC-11-Xc	$1\ 600 \times X$ ($X=1$ a 64)	
VC-12-Xc	$2\ 176 \times X$ ($X=1$ a 64)	
VC-3-Xc	$48\ 384 \times X$ ($X=1$ a 256)	$X=5:$ 10 Mbit/s
VC-4-Xc	$149\ 760 \times X$ ($X=1$ a 256)	$X=2:$ 100 Mbit/s (Fast Ethernet) $X=7/64:$ 1/10 Gbit/s (1/10 Gb Ethernet)

Concatenação virtual – capacidades possíveis e exemplos do transporte de Ethernet

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

No caso do suporte das interfaces da hierarquia plesiócrona, estão definidas as possibilidades indicadas na figura.

Para o transporte de sinais com capacidade superior ao máximo permitido pelo contentores SDH (C-4), foram desenvolvidos métodos para transporte em múltiplos contentores concatenados, transmitidos em módulos STM (por exemplo, 4 contentores C-4 concatenados transmitidos num sinal STM-4) e agregados na receção.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Operação e manutenção

Objetivos:

- minimização do impacto de **defeitos** e **fallas** sobre a qualidade de serviço
- usa a informação de supervisão transmitida nos *overheads*
- recorre a ações preventivas, sempre que possível
 - ocorrência de **anomalias** indica defeitos ou falhas iminentes
 - intervenção antecipada pode evitar degradação significativa do serviço
- efetua ações corretivas para restabelecer a qualidade de serviço
 - proteção automática de sistemas
 - reconfiguração da rede através de procedimentos de gestão

Definições básicas	
Anomalia	<ul style="list-style-type: none"> • mínima discrepância entre o que foi observado e o que era desejado
Defeito	<ul style="list-style-type: none"> • frequência de anomalias atingiu um limite a partir do qual deixa de ser possível executar satisfatoriamente uma determinada função
Falha	<ul style="list-style-type: none"> • incapacidade total de uma função executar uma determinada ação dentro de um tempo limite

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Operação e manutenção

Informação de supervisão transmitida nos *overheads*

- monitoração de parâmetros do sistema, nomeadamente erros
- estado de sincronização
- estado de caminhos
- alarmes <----  indicações de que um **defeito** ou **falla** foi detectado

Exemplo de operação de um sistema de proteção de falhas

- **monitoração** de desempenho visando controlo de qualidade e ação preventiva
- **deteção** de falhas através da verificação funcional contínua ou periódica
- **localização** de falhas através de sistemas de teste internos ou externos
- **proteção** do sistema através de:
 - isolamento e exclusão de serviço da entidade com falhas
 - intervenção coordenada de outros recursos para restabelecimento do serviço
 - informação das falhas a entidades de gestão

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

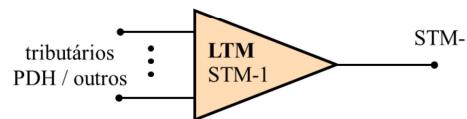
Redes SDH

Elementos de rede (NE – Network Elements)  permitem construir qualquer rede SDH

Regenerador
Regenerator



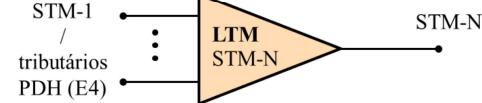
Multiplexador
Terminal de Linha
*Line Terminal
Multiplexer*



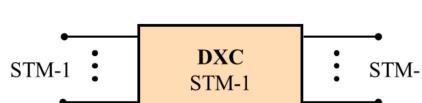
STM-N



Multiplexador de
Inserção / Remoção
*Add / Drop
Multiplexer*



Nó Digital de
Interligação
*Digital
Crossconnect*



Elementos de rede SDH

(N=4, 16, 64, 256)

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Para além das estruturas de multiplexagem SDH, a UIT definiu ainda os Elementos de Rede (NEs) necessários para desenvolver uma rede SDH. Destacam-se os seguintes:

- **LINE TERMINAL MUX (LTM) STM-1:** permite a multiplexagem de tributários PDH ou outros no módulo STM-1;
- **LINE TERMINAL MUX (LTM) STM-N:** permite a multiplexagem no módulo STM-N de módulos STM-1 e/ou tributários PDH a 140 Mbit/s;
- **ADD/DROP MUX (ADM) STM-1:** permite acrescentar/retirar tributários PDH ou outros ao módulo STM-1;
- **ADD/DROP MUX (ADM) STM-N:** permite acrescentar/retirar módulos STM-1 e/ou tributários PDH a 140 Mbit/s ao módulo STM-N;
- **DIGITAL CROSSCONNECT (DXC) STM-1:** permite comutar tributários PDH (sobretudo a 2 Mbit/s) de entre um conjunto de módulos STM-1;
- **DIGITAL CROSSCONNECT (DXC) STM-N:** permite comutar módulos STM-1 e/ou tributários PDH a 140 Mbit/s de entre um conjunto de módulos STM-N.

A comutação nos elementos DXC e a multiplexagem nos elementos LTM e ADM é controlada local ou remotamente por operações de gestão.

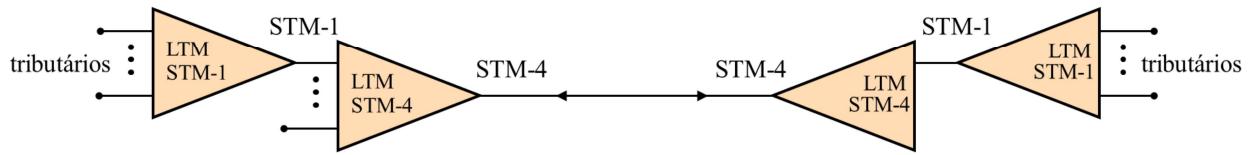
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias

Ponto-a-ponto

- constituída apenas por multiplexadores terminais de linha em cada extremidade
- topologia simples
- aplicações
ligações específicas entre nós de comutação ou acesso de grandes utilizadores (ex: empresas) transporte de tributários E1 e de outros sinais



Topologia ponto-a-ponto

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Uma rede SDH desenvolvida será constituída pelos níveis nacional, regional e local, por sua vez estruturados em subníveis constituídos por elementos de rede associados entre si em diversas topologias.

Os sistemas SDH (STM-4 e mais tarde STM-16) começaram a aparecer em ligações específicas ou redes sobrepostas com a rede PDH existente a 140 Mbit/s e 565 Mbit/s.

A aplicação fundamental será o **transporte de tributários** entre **estações de transmissão**.

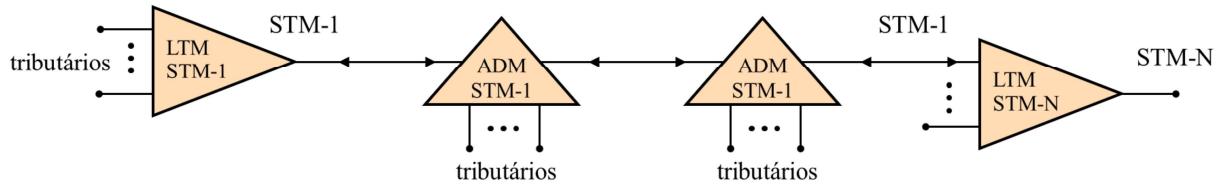
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias

Ponto-a-multiponto

- ligação com um ou mais ADMs em cadeia
- capacidade de fazer inserção/remoção ao longo do percurso
- aplicações
 - agregação de tráfego com origem dispersa
 - difusão de sinais (remove e continua)



Topologia ponto-a-multiponto

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

A associação de Multiplexadores de Inserção/Remoção (ADMs) em cadeia é especialmente adequada para o acesso de tributários de mais baixo débito.

Ao longo da cadeia podem ser inseridos/retirados tributários de uma estrutura SDH de nível superior.

Por razões de fiabilidade, estas **cadeias em série** são geralmente **curtas**.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

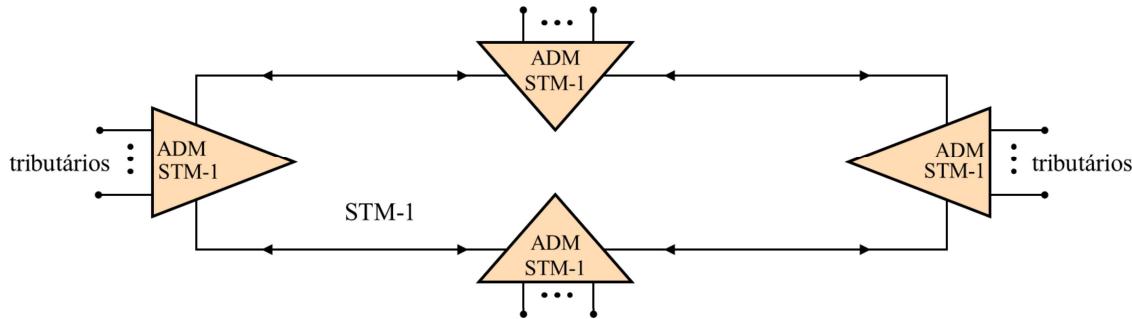
Redes SDH

Topologias

Anel

- ligação de ADMs em cadeia fechada nas extremidades
- aplicações
 - agregação de tráfego em redes urbanas
 - distribuição de tráfego ao nível regional

capacidade de proteção



Topologia em anel (bidirecional)

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

As configurações de Multiplexadores de Inserção/Remoção (ADMs) em **anel** são uma extensão das configurações em cadeia, conduzindo a soluções de **maior fiabilidade**.

De facto, a possibilidade de reconfiguração das ligações num anel bidirecional proporciona **proteção contra falhas** num **nó** ou numa **ligação entre nós** adjacentes.

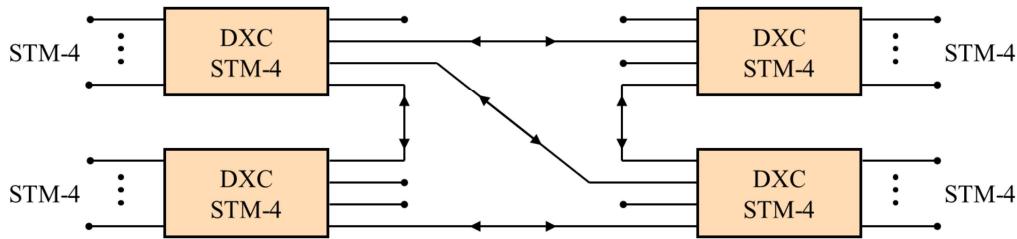
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias

Rede em malha

- realizada através de múltiplas ligações entre DXCs (caso mais simples: um único DXC)
- permite grande capacidade e flexibilidade de encaminhamento de tráfego
- aplicações
 - núcleo da rede de transporte
 - interligação de grandes nós de comutação



Topologia em malha

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

À medida que a rede se expande, múltiplas ligações ponto-a-ponto combinam-se com Nós Digitais de Interligação (DXC) para permitir o estabelecimento de múltiplas ligações semipermanentes.

Os **DXCs** serão ligados em malha para permitir **diversidade de rotas**.

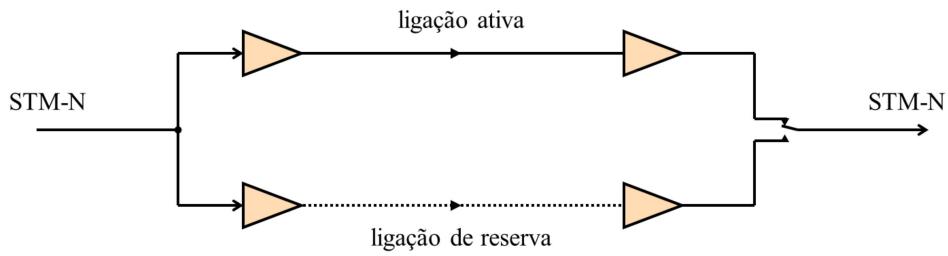
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção dedicada de ligações ponto-a-ponto

- um sistema de reserva para cada sistema ativo
- tráfego enviado simultaneamente pelo sistema ativo e pelo de reserva
- exige apenas comutação do lado da receção



Configuração de proteção dedicada de ligação ponto-a-ponto

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

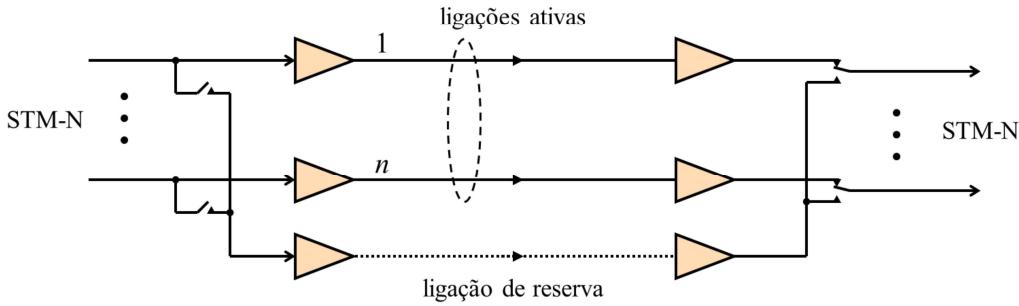
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção partilhada de ligações simples

- um sistema de reserva para cada n sistemas ativos
- trásego enviado pelo sistema de reserva quando ocorrem defeitos ou falhas
- exige comutação coordenada do lado da emissão e da receção



Configuração de proteção partilhada de ligação ponto-a-ponto

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

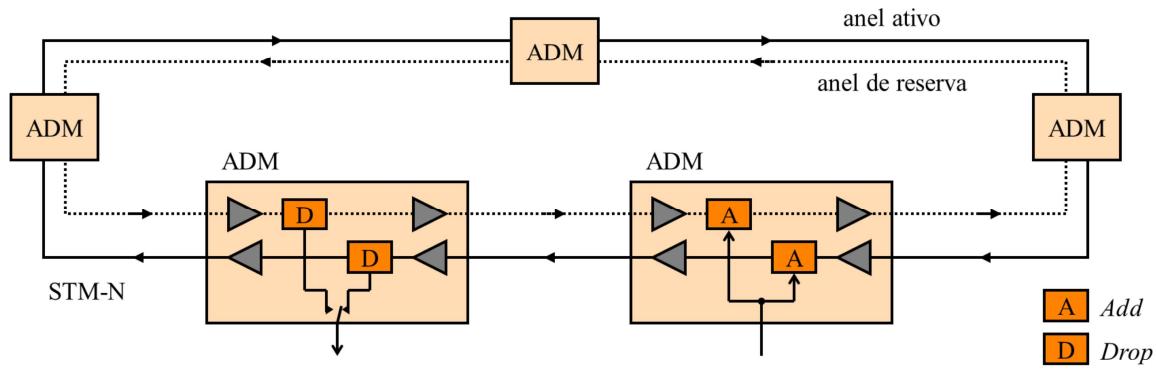
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção de um anel unidirecional com duas fibras

- transmissão unidirecional num anel operacional
- tráfego enviado simultaneamente por um anel de reserva
- em caso de falha do anel operacional comuta-se a receção em cada ADM para o anel de reserva



Configuração de proteção de um anel unidirecional com duas fibras

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

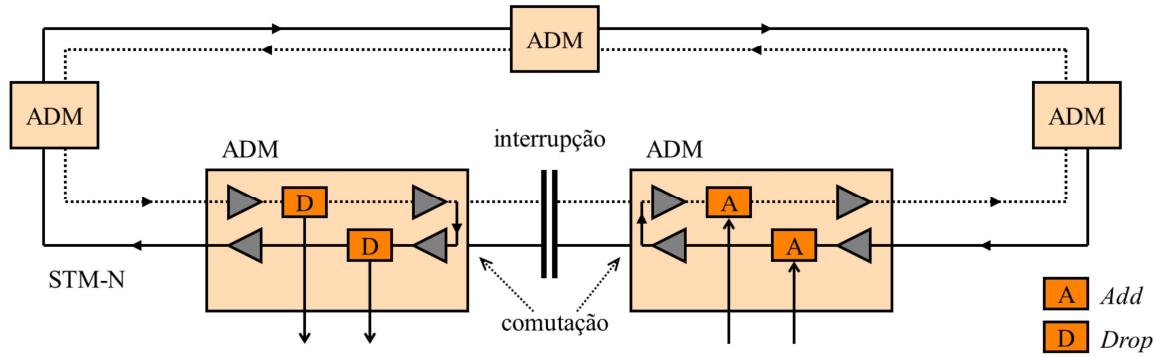
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção de um anel bidirecional com duas fibras

- transmissão bidirecional em 2 anéis operacionais, com uma reserva de banda (50%)
- em caso de falha reconstrói-se um único anel
- os ADM comunicam da mesma forma antes e depois de ocorrer a comutação de proteção



Configuração de proteção de um anel bidirecional com duas fibras

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

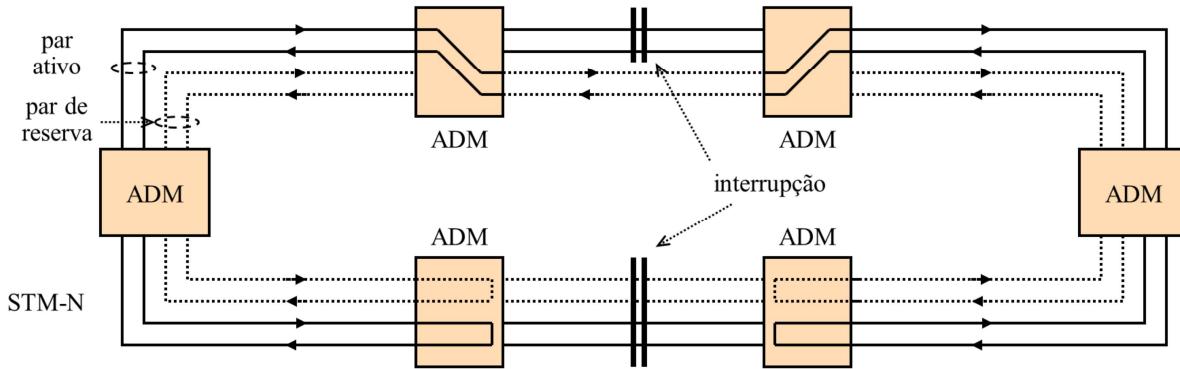
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção de um anel bidirecional com quatro fibras

- capacidade de proteção duplica em relação ao anel com duas fibras
- suporta falhas múltiplas nos ADMs e ligações
- solução preferida devido ao aumento de fiabilidade



Configuração de proteção de um anel bidirecional com quatro fibras

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Aplicação de sistemas SDH na rede de transporte

Rede nacional

- ligações de muito alta capacidade e nós de transmissão constituídos por DXCs
- rede emalhada, garantindo adaptação a tráfego variável e elevada fiabilidade

Rede regional

- DXCs emalhados nas áreas urbanas de grande tráfego
- anéis de alta capacidade constituídos por ADMs nas áreas de tráfego moderado

Rede local de acesso

- acesso de utilizadores
 - grande capacidade: acesso direto à rede SDH ao nível STM-N
 - média dimensão: acesso a anéis através de ADMs
 - baixa capacidade: multiplexadores flexíveis agregam tráfego em ligações E1, que, por sua vez acedem a anéis através de ADMs
- interligação
 - anéis com ADMs agregam o tráfego destinado ao nível da rede regional

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

A **rede de transporte** assegura a transferência de informação entre utilizadores e sistemas da rede, nomeadamente entre os comutadores.

Consideram-se três níveis: nacional, regional e local.

Rede interurbana

- ligações de muito alta capacidade e nós de transmissão constituídos por DXCs;
- rede emalhada, de forma a responder a solicitações de tráfego variáveis e garantir uma elevada fiabilidade.

Rede regional

- para satisfazer elevados requisitos de tráfego, utilizam-se DXCs emalhados.
- nas áreas de tráfego moderado, recorre-se a anéis de alta capacidade constituídos por ADMs.

Rede local

- A rede local inclui, por sua vez, dois subníveis – de acesso e de interligação.

Rede de acesso

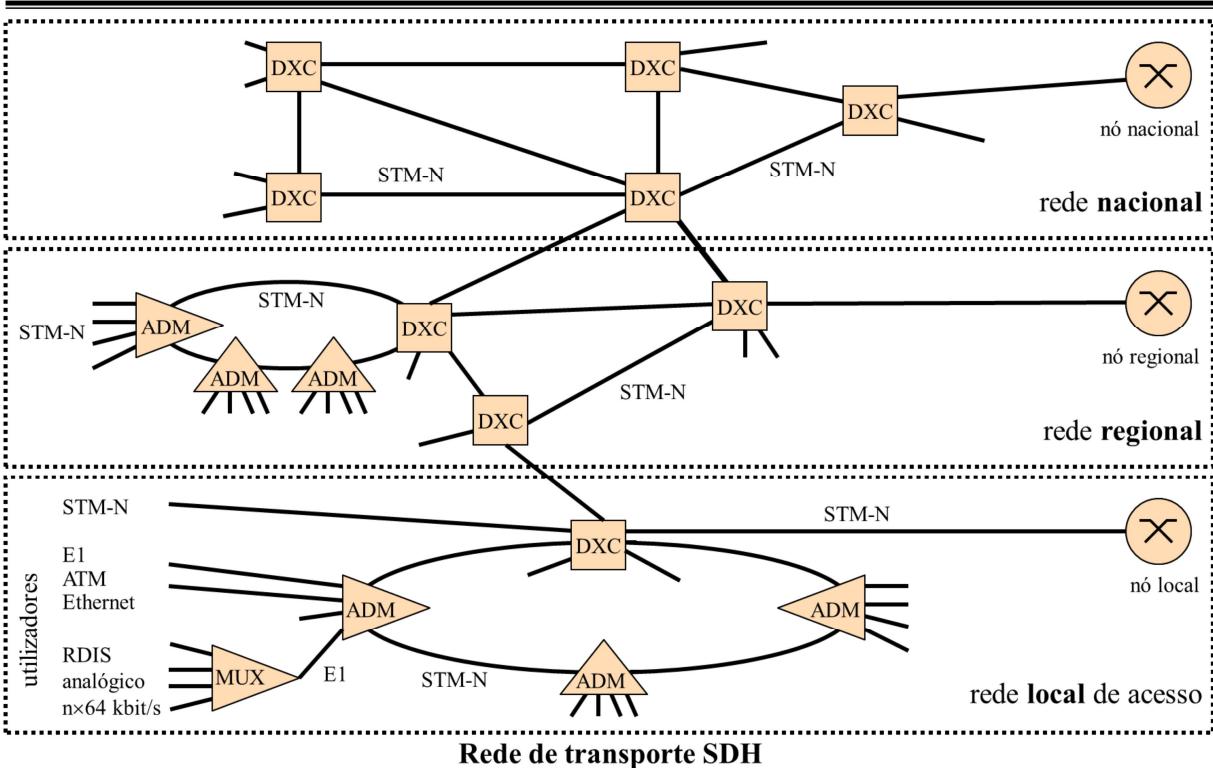
O acesso de utilizadores dependerá naturalmente dos respectivos requisitos de tráfego:

- utilizadores residenciais e empresariais com pequena capacidade poderão ter acesso à rede SDH através da rede de cobre (linhas analógicas, digitais e RDIS) e multiplexadores flexíveis localizados em armários de rua ou de condomínios;
- utilizadores empresariais de média dimensão poderão utilizar ligações a 2 Mbit/s (E1) em fibra ou cobre, que por sua vez poderão aceder diretamente a ADMs interligados em anel;
- utilizadores empresariais de grande capacidade poderão aceder diretamente à rede SDH ao nível STM-1, sobre fibra óptica.

Rede de interligação

A rede de interligação será normalmente constituída por anéis e eventualmente cadeias com ADMs. Para além da função de interligação local, este nível agrupa o tráfego destinado ao nível superior da rede regional.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Referências

JSDU, SDH Pocket Guide, 2013.

Valdar, A. (2017). Understanding Telecommunications Networks (2 ed). IET.

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital