

# REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

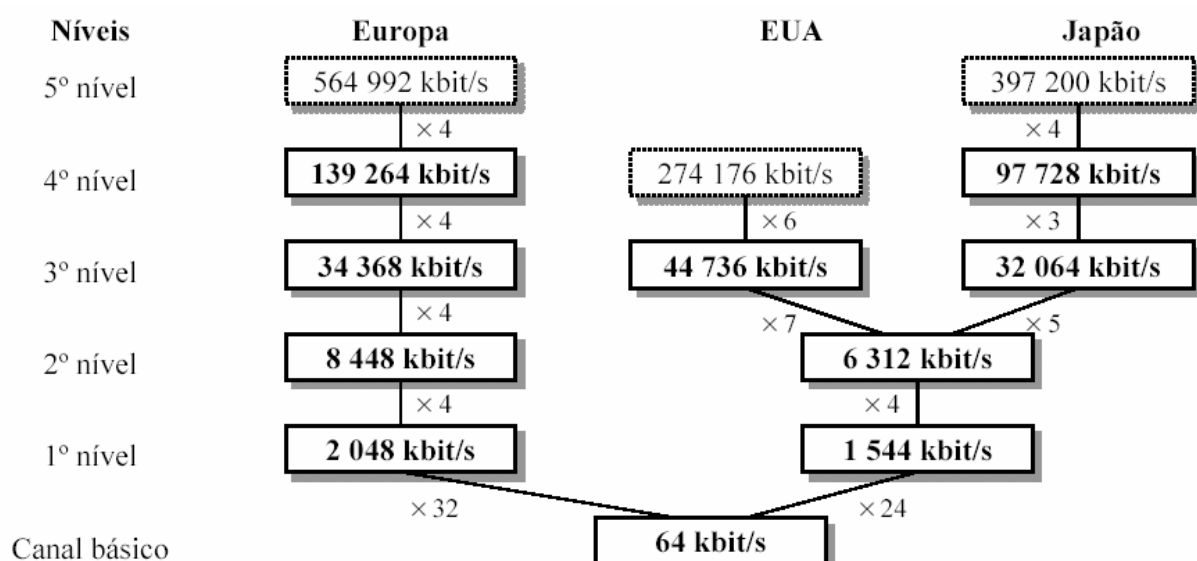
## *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)*

**Eng<sup>a</sup> de Sistemas e Informática**

UALG/FCT/ADEEC 2004/2005

## *Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)*

### Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)

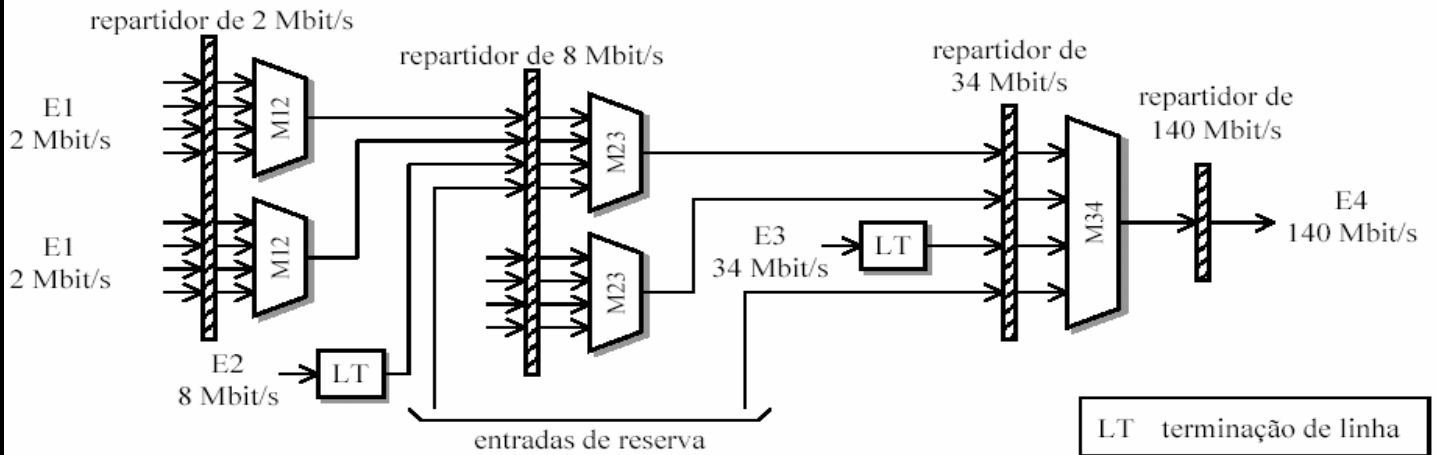


## Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)

### Princípios básicos

Sistema hierárquico

- cada sinal de um nível é obtido a partir de  $n$  tributários do nível anterior
- os tributários são assíncronos, mas com o mesmo débito nominal (plesiócronicos)
- a multiplexagem é assíncrona com justificação positiva/nula.



Multiplexagem num sistema digital plesiócrono (sistema europeu)

## Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)

### Vantagens e limitações da hierarquia PHD

#### Vantagens

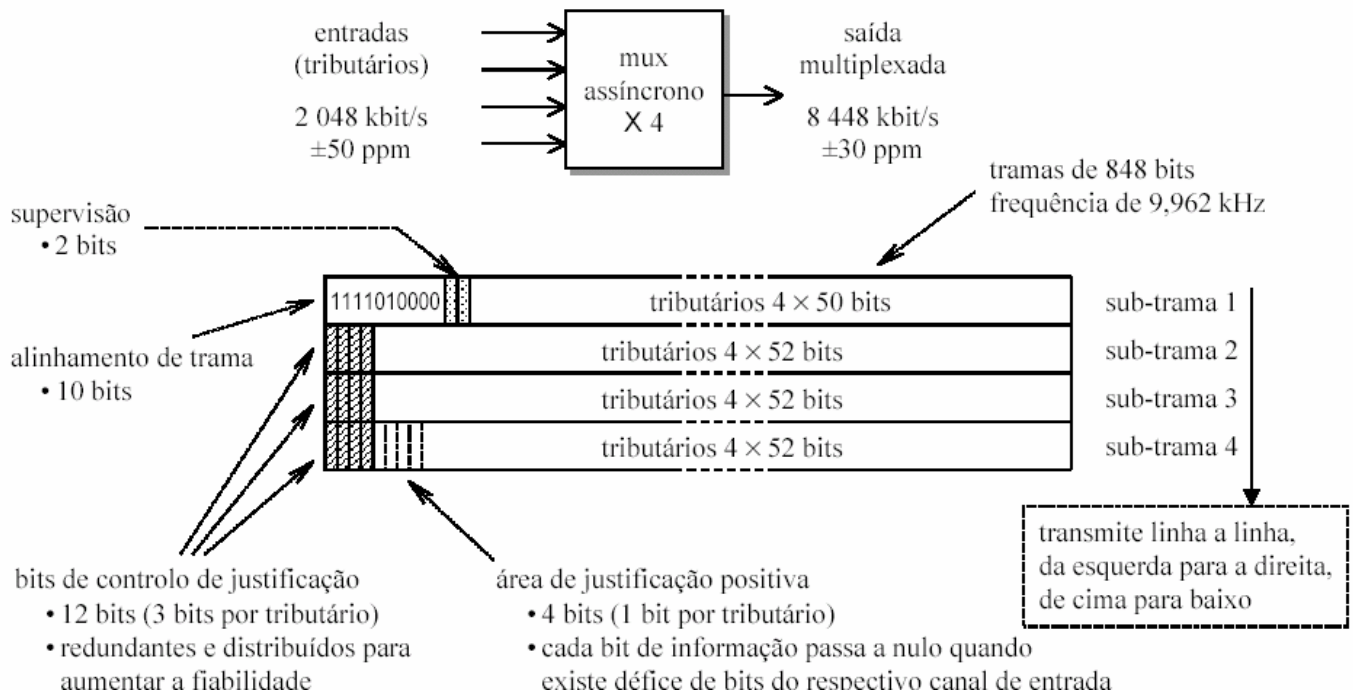
- número de sistemas normalizados reduzidos a um pequeno conjunto
- níveis adaptados aos sistemas de transmissão de alto débito então existentes (pares simétricos, cabos coaxiais, feixes hertzianos)
- crescimento através da adição de novos equipamentos mantendo os anteriores

#### Limitações

- taxas de transmissão limitadas a cerca de 500 Mbit/s
- capacidade rudimentar de operação e manutenção
- reconfiguração simples mas manual (alteração física de ligações nos repartidores)
- acesso a um tributário obriga à desmultiplexagem de todos os níveis superiores.

## Hierarquia Digital Plesiócrons (PHD)

### Multiplexagem de 2 para 8 Mbit/s



## Hierarquia Digital Plesiócrons (PHD)

Um valor típico para a tolerância dos relógios dos tributários da primeira hierarquia CEPT1 é de 50 ppm (partes por milhão). Pretende-se demonstrar que a presença de 1 bit de justificação por tributário na trama CEPT2 é suficiente para compensar as flutuações dos débitos à tolerância referida.

*Cada trama CEPT2 contém 266 bits de informação de cada um dos canais (tributários), os quais se reduzem a 265 quando se usa justificação. Assim o débito binário máximo por cada canal é igual a*

$$(266 \times 8.448 \text{ Mbit/s}) / 448 = 2.0522 \text{ Mbit/s}$$

*enquanto que o débito mínimo vem dado por:*

$$(265 \times 8.448 \text{ Mbit/s}) / 448 = 2.0423 \text{ Mbit/s}$$

*Esses débitos correspondem a uma flutuação relativamente ao débito binário nominal (2.048 Mbit/s) de 4.2 Kbit/s e -5.7 Kbit/s. Ou seja um bit de justificação tem capacidade para acomodar flutuações dentro desses limites.*

*Por sua vez um relógio com estabilidade de 50 ppm, irá originar flutuações no débito binário de*

## ***Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)***

---

$50/10^6 \times 2.048 \text{ Mbit/s} = 102.4 \text{ bit/s}$

*os quais estão perfeitamente integrados nos limites permitidos por 1 bit de justificação.*

## ***Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)***

---

### **Aquisição e perda de enquadramento**

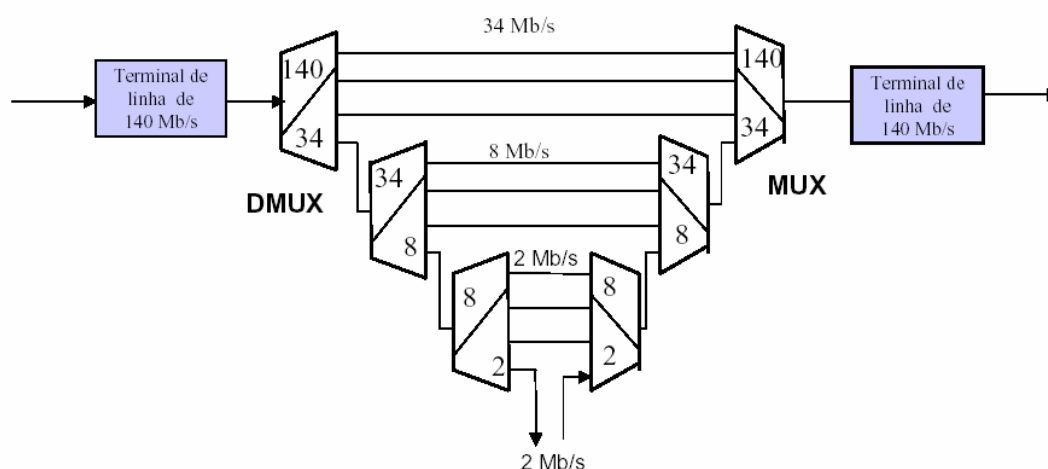
### **Desvantagens do PHD**

- Na década de 1980, novos avanços tecnológicos (fibras ópticas e integração em larga escala de circuitos integrados) possibilitaram a transmissão e comutação de sinais digitais a taxas superiores às permitidas pela hierarquia PHD o que originou a necessidade de novas hierarquias de multiplexagem digital.

- Embora fosse teoricamente possível ultrapassar estas limitações através do projecto de uma nova geração PHD, a solução adoptada foi a concepção de um sistema com uma filosofia diferente, ou seja a Hierarquia Digital Síncrona ou SDH ('Synchronous Digital Hierarchy').

## *Hierarquia digital síncrona (SDH-Synchronous Digital Hierarchy)*

- Necessidade de concatenação de equipamento formando uma pilha de multiplexers para extrair canais de níveis hierárquicos inferiores.



- Interfaces normalizadas unicamente para transmissão de sinais eléctricos ;
- Incompatibilidade de equipamento de diferentes fabricantes;
- Funções de suporte operacional (monotorização, controlo e gestão da rede quase inexistentes).

- **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) foi definida pelo ITU-T em 1990
- Nos EUA tem a designação de **SONET** (Synchronous Optical NETwork) pela simples razão de que as interfaces são normalizadas para sinais ópticos
- A grande diferença entre SDH/SONET e as redes tradicionais é que o meio de transmissão utilizado é a fibra óptica

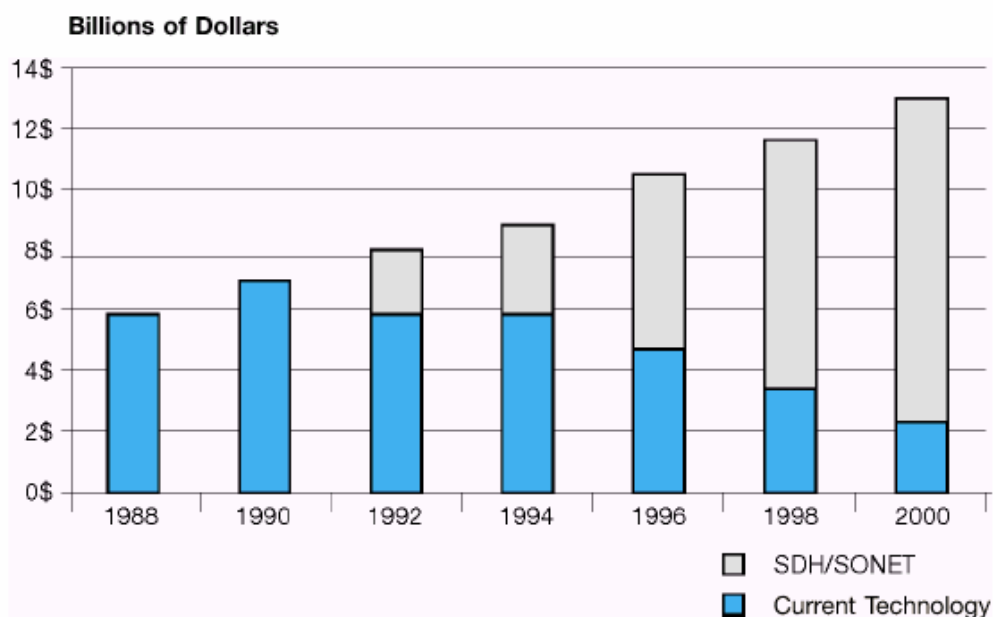
### **Vantagens do SDH**

- Há normas até 10 Gbit/s: Apropriada para as rede de transporte.  
STM-1 □ 155.52 Mbit/s, STM-4 □ 622.08 Mbit/s, STM-16 □ 2488.32 Mbit/s,  
STM-64 □ 9953.28 Mbit/s
- Compatibilidade entre o equipamento de diferentes fabricantes e entre as hierarquias europeias e americanas.
- Função de inserção/extracção simplificada. Como a tecnologia é síncrona é fácil identificar os canais de ordem inferior.
- Gestão centralizada fácil. A trama SDH dispõe de um número elevado de octetos para comunicação entre os elementos de rede e um centro de gestão centralizada, usando o sistema TMN (*Telecommunications Management Network*).
- Elevada disponibilidade permitindo uma provisão rápida dos serviços requeridos pelos clientes. Tal deve-se ao facto da SDH fazer uso intensivo de software, em contrapartida com a PDH cuja funcionalidade reside no hardware.

## *Hierarquia digital síncrona (SDH-Synchronous Digital Hierarchy)*

- Elevada fiabilidade. As redes SDH usam mecanismos de protecção que permitem recuperações rápidas a falhas (da ordem dos 50 ms), quer das vias de comunicação, quer dos nós da rede.
- Normalização das interfaces ópticas (definindo os códigos a usar, os níveis de potência, as características dos lasers e das fibras, etc).
- Possibilidade de monitorizar o desempenho dos diferentes canais.
- Plataforma apropriada para diferentes serviços.

## *Hierarquia digital síncrona (SDH-Synchronous Digital Hierarchy)*





Signal Designation			Line Rate (Mbps)
SONET	SDH	Optical	
STS-1	STM-0	OC-1	51.84
STS-3	STM-1	OC-3	155.52
STS-12	STM-4	OC-12	622.08
STS-48	STM-16	OC-18	2,488.32
STS-192	STM-64	OC-192	9,953.28
		OC-768(?)	39,813.12

**STS-Synchronous Transport Signal**

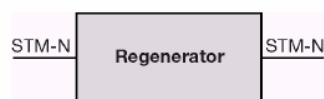
**STM-Synchronous Transport Module**

**OC- optical carrier** STS e STM quando os sinais se encontram no domínio eléctrico

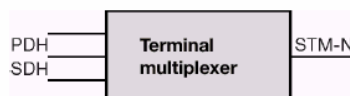
## *Elementos da rede*

---

**Regeneradores** - têm por função regenerar o sinal quer em termos de amplitude como de temporização. Os regeneradores comunicam entre si pelos canais de dados de 64 Kbit/s (canais E1, F1) da secção de regeneração do cabeçalho de trama.



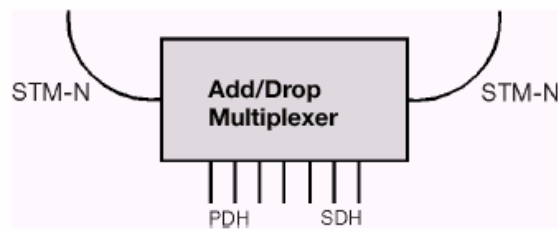
**Multiplexador terminal de linha**- são utilizados para combinar sinais plesiócronicos e síncronicos em tramas STM de débito binário superior ao dos tributários.



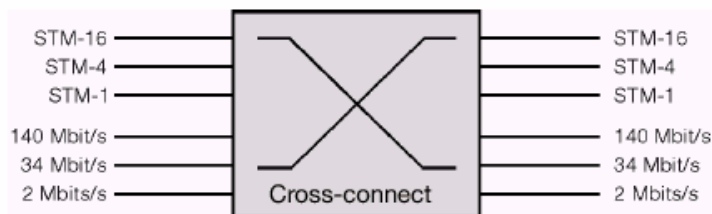
## Elementos da rede

### Multiplexador de inserção/remoção (Add/drop multiplexer):

Possibilita a inserção e remoção de sinais síncronos ou plesíocronos em tramas STM

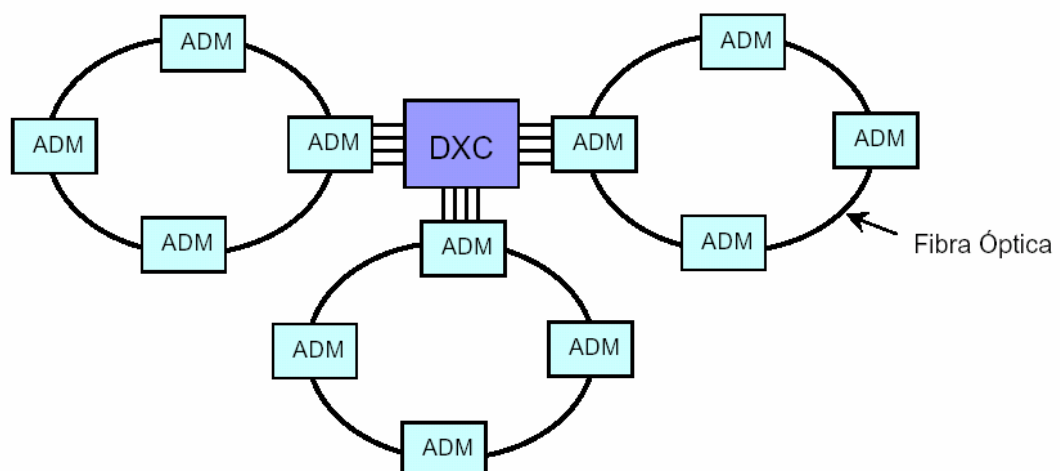


**Nó de interligação (Digital Cross Connets (DXC)):** Proporciona funções de comutação apropriadas para estabelecer ligações semipermanentes entre canais E1, E3, E4, e STM-1 e permite restauro das redes.



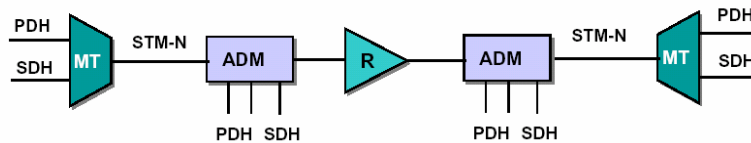
## Elementos da rede

Os comutadores de cruzamento são usados para interligar anéis SDH, ou como nós de redes em malha.

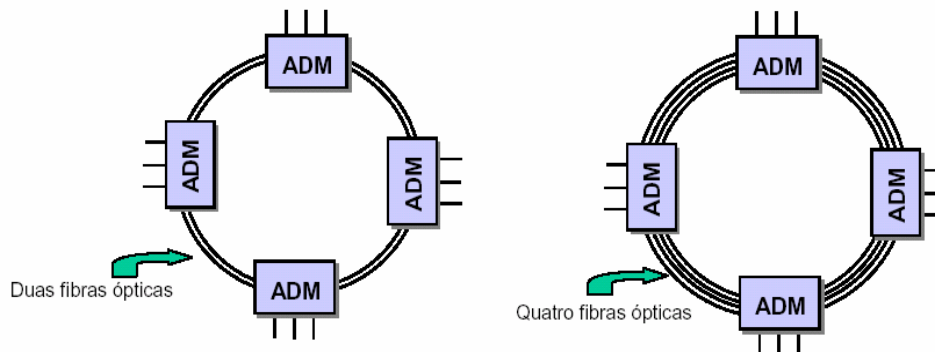


## Topologias Físicas

- Topologia em cadeia

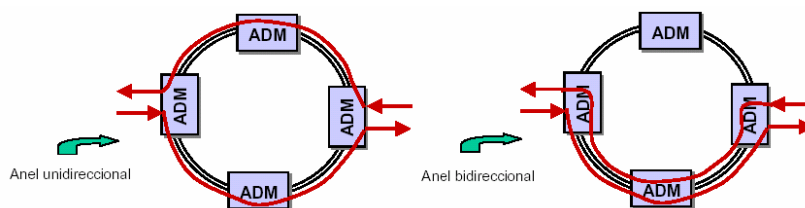


- Topologia em anel com duas ou 4 fibras

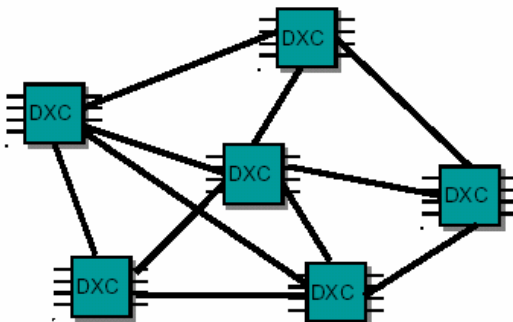


## Topologias Físicas

### Anéis unidireccionais e bidireccionais



### Topologia emalhada (usada no núcleo central da rede)



A presença dos DXC permite implementar um sistema de restauro dinâmico. Com esta técnica o sistema de gestão da rede reencaminha o tráfego por percursos alternativos àqueles onde ocorreram falhas

## Modelo de Camadas

Camadas de Transporte SDH	Caminho		
	Transmissão	Secção	Secção de Multiplexagem
			Secção de regeneração
	Física		

### Caminho:

Identificação da integridade da ligação, especificação do tipo de tráfego transportado no caminho e monitorização de erros

### Secção de multiplexagem:

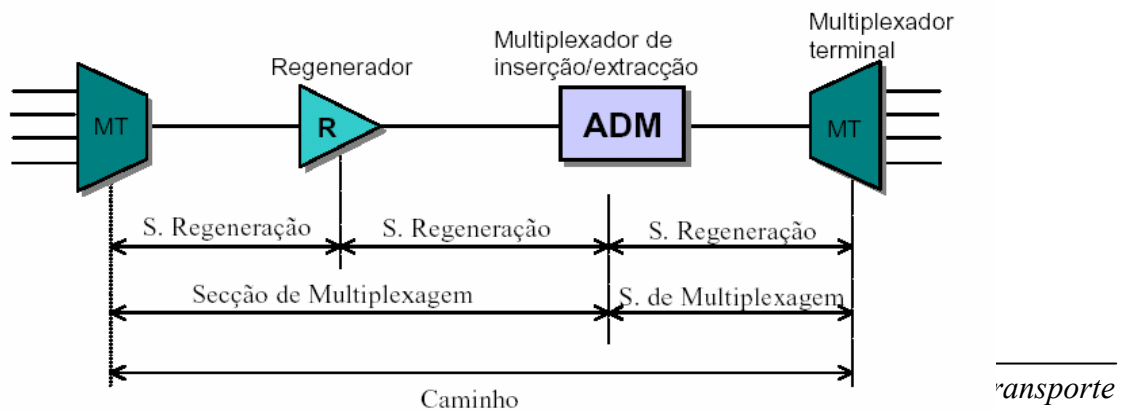
Sincronização, comutação de protecção, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão

### Secção de regeneração:

Enquadramento da trama, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão.

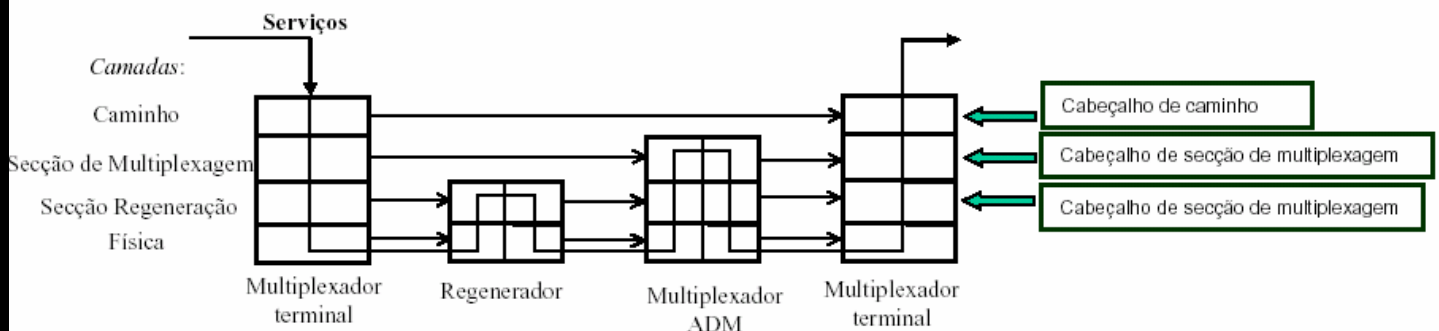
### Física:

Forma dos pulsos ópticos, nível de potência, comprimento de onda.

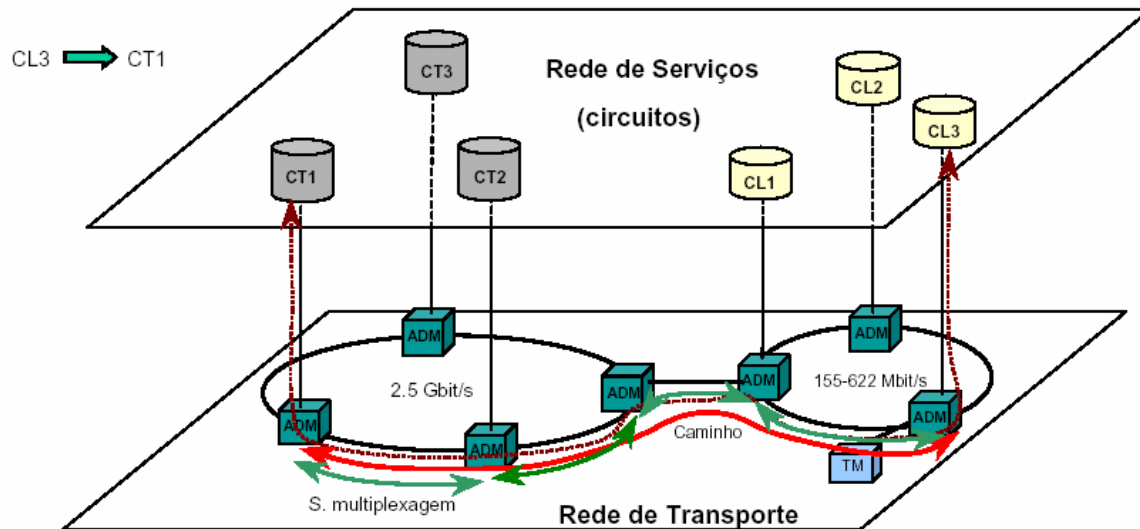


## Modelo de Camadas

Cada camada (com excepção da física) tem um conjunto de bytes que são usados como cabeçalho da camada. Estes bytes são adicionados sempre que a camada é introduzida e removidos sempre que esta é terminada.



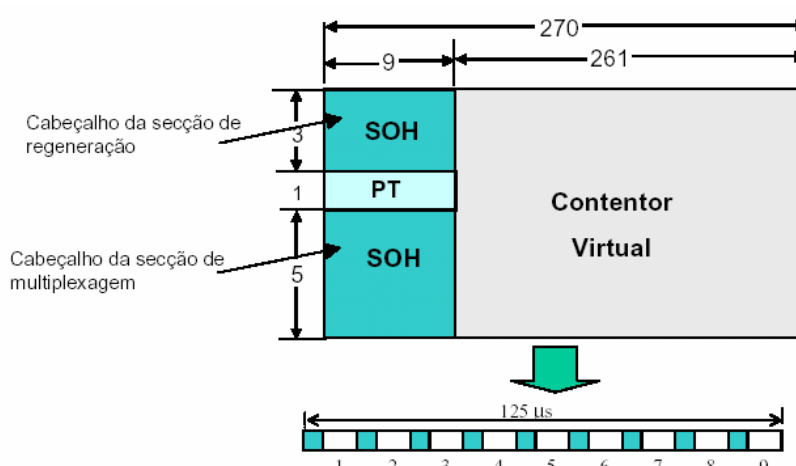
## Modelo de Camadas



DXC: crossconnect  
 CT: central de trânsito  
 CL: central local  
 TM: multiplexer terminal  
 ADM: multiplexer de inserção/extração

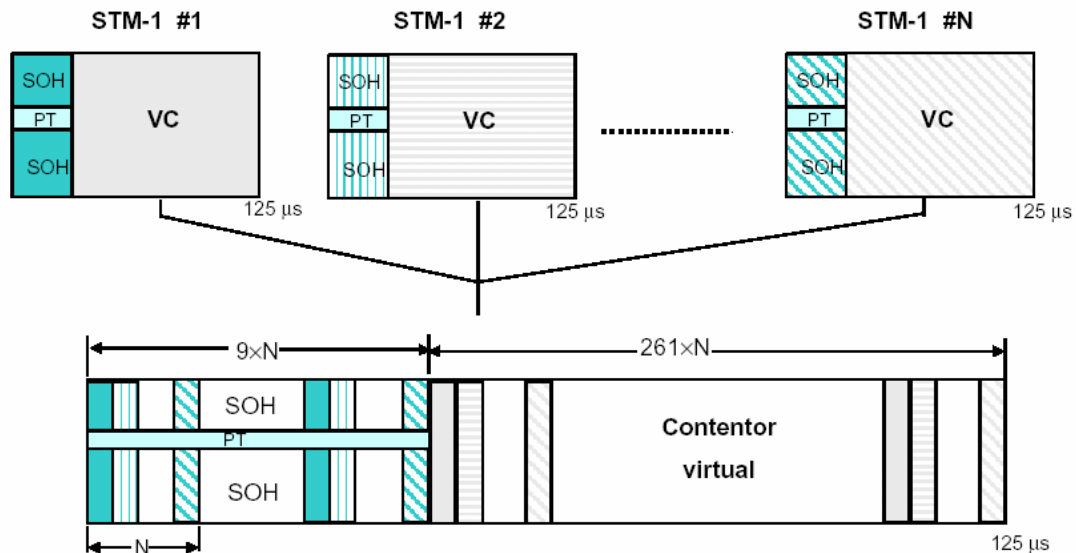
## Trama básica STM-1 (Synchronous Transport Module)

- É composta por  $9 \times 270 = 2430$  bytes
- Tem a duração de 125  $\mu$ s, o que corresponde a 8000 tramas/s
- Taxa de transmissão de 155,52 Mbit/s
- Os bytes são transmitidos linha a linha, começando pela 1ª linha e 1ª coluna.
- Contém 3 blocos:
  - Cabeçalho de secção (SOH, section overhead)
  - Ponteiro (PT): permite localizar a informação transportada no VC
  - Contendor virtual: capacidade transportada + cabeçalho de caminho.

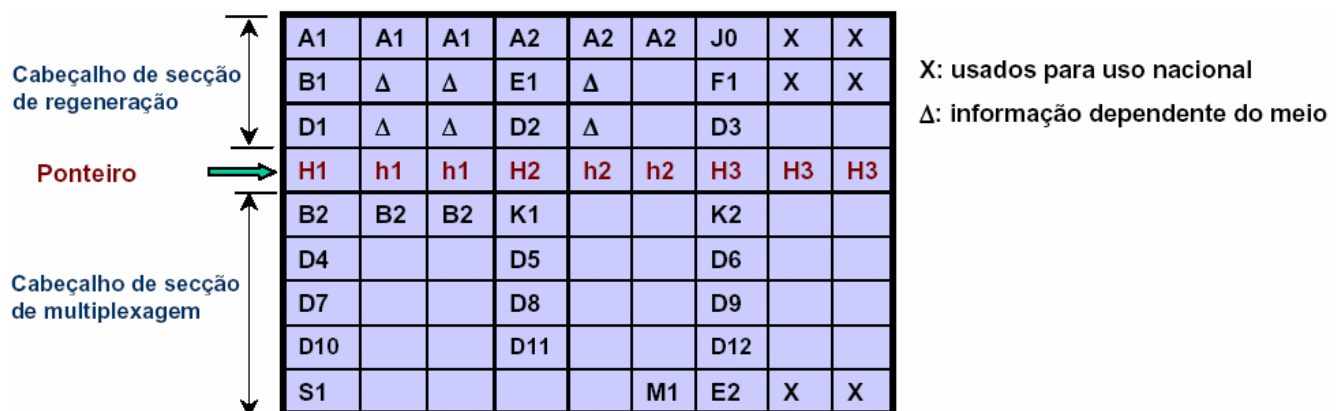


## Formação da trama STM-N

- As trama STM de ordem superior são obtidas através de multiplexagem byte a byte de vários STM-1.
- O débito binário do sinal STM-N é de  $N \times 155.52$  Mbit/s.



## Cabeçalho de secção de trama STM-1



### Cabeçalho de secção de regeneração

A1, A2 : Padrão de enquadramento de trama (A1=11110110, A2=00101000).

J0: Traço de secção de regeneração. Verifica a integridade da ligação a nível de secção.

B1: Monitorização de erros a nível da secção de regeneração.

D1- D3: Canal de comunicação de dados. Transporta informação de gestão de rede.

E1: Canal de comunicação de voz (64 kb/s) entre regeneradores.

F1: Canal de utilizador. Diferentes aplicações. Ex: transmissão de dados.

## Cabeçalho de secção de trama STM-1

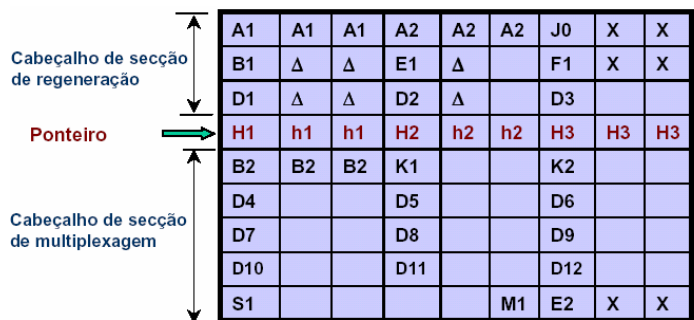
### Cabeçalho de secção de multiplexagem

**B2:** Monitorização de erros a nível da secção de multiplexagem.

**K1- K2:** Comutação de protecção automática.

**D4- D12:** Canal de comunicação de dados a 576 kbit/s. Transporta informação de gestão

de rede entre os elementos que terminam a secção de multiplexagem e entre estes e o sistema de gestão de rede.



**S1:** Indicador da qualidade do relógio. Transporta mensagens referentes ao tipo de relógio usado no processo de sincronização.

**M1:** É usado para transportar uma indicação de erro remoto ou REI (remote error indication) a nível de secção de multiplexagem. O alarme REI é enviado para o ponto onde a secção de multiplexagem é originada e indica o número de blocos detectados errados a partir da informação dada pelo B2.

**E2:** Canal de comunicação de voz (64 kb/s) para comunicações vocais entre as extremidades da camada de multiplexagem.

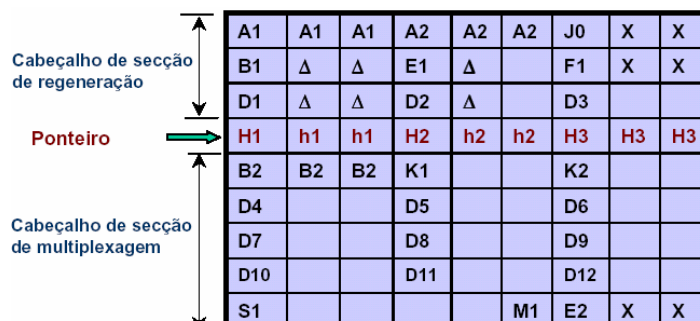
## Cabeçalho de secção de trama STM-1

### Ponteiro

**H1, H2:** Octetos do ponteiro. Indicam o início do contentor virtual na trama

**H3:** Octetos de acção do ponteiro. Usados para justificação negativa.

**h1, h2:** Octetos com um valor invariável.



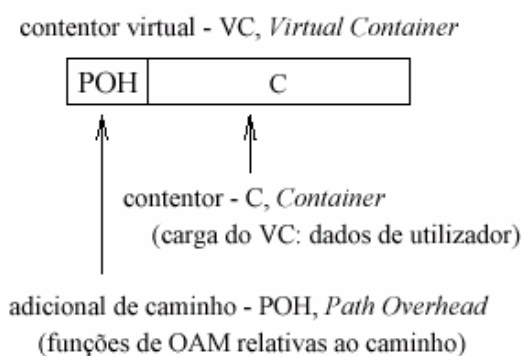
## Princípios de Multiplexagem

### Contentores (C, Containers)

Unidade básica usada para transportar informação dos tributários (ex PDH). Inclui ainda octetos de justificação fixa (sem informação) para adaptar os débitos dos tributários aos débitos dos contentores e bits usados para justificação dos tributários PDH.

### Contentores virtuais (VC, Virtual Containers)

O contentor virtual consiste num **contentor** mais o **cabeçalho de caminho**. O VC é uma entidade que não sofre modificações desde o ponto onde o caminho é originado até ao ponto onde é terminado. Os VCs transmitidos directamente no STM-1 designam-se **contentores virtuais de ordem superior ou alta ordem**. Os restantes de ordem inferior ou baixa ordem.



	Contentor	Capacidade (kbit/s)
Baixa Ordem	C-11	1 600
	C-12	2 176
	C-2	6 784
	C-3	48 384
Alta Ordem	C-3	48 384
	C-4	149 760

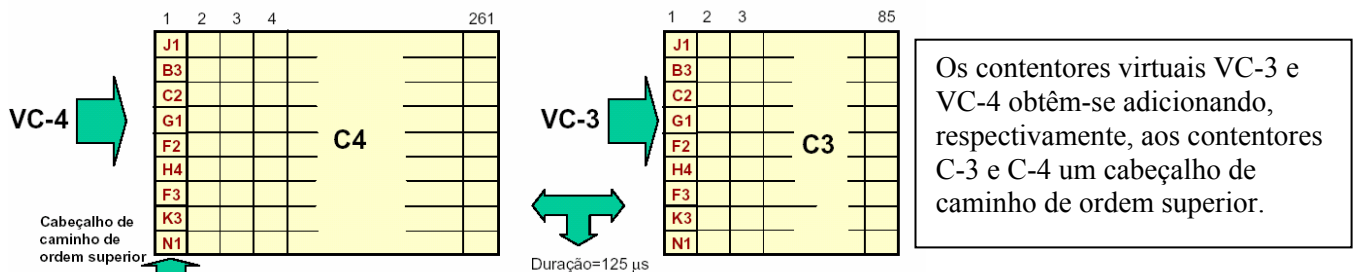
## Formação de tramas STM-1

### Unidade Administrativa (AU)

Consiste num **contentor virtual de ordem superior** mais um ponteiro de unidade administrativa. O ponteiro especifica o início do contentor virtual.

### Grupo de unidade administrativa (AUG)

Resulta da combinação por **interposição de byte** de várias **unidades administrativas**. Adicionando o cabeçalho de secção à AUG obtém-se a trama STM-1.



O cabeçalho de caminho de ordem superior é constituído por 9 bytes iniciando-se com byte J1, que é também o primeiro byte do VC.

O contentor VC-4 é constituído por  $261 \times 9 = 2349$  octetos, o que dá um débito de 150.336 Mbit/s. Ao VC-3 corresponde um débito de 49.96 Mb/s.



## Funções dos bytes do cabeçalho

J1: Permite verificar a integridade do caminho. O terminal onde o caminho é gerado envia repetidamente uma sequência padrão através de J1, a qual é confirmada pelo terminal receptor.

B3: É usada para monitorizar erros, transmitindo o BIP do caminho.

C2: É a etiqueta do sinal, indicando a composição dos contentores virtuais VC3/VC4:  
Ex: 0000 0000: não transporta tráfego, 0000 0010: usa uma estrutura TUG, 0001 0010: transporta um E4 num C-4, 0001 0011: ATM.

G1: É um canal usado pelo terminal receptor para enviar para o terminal emissor o informação sobre desempenho do caminho, nomeadamente sobre os erros detectados por B3.

F2: Canal de manutenção usado pelos operadores da rede.

H4: Indicador de super-trama. Usada na formação do VC-2, VC-12 e VC-11.

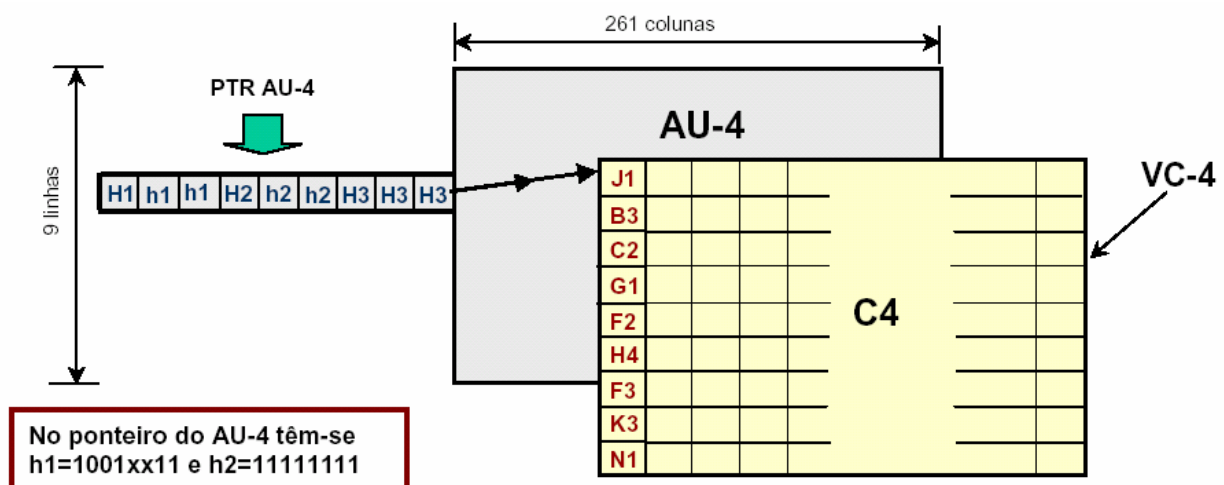
F3: Canal de manutenção

K3: Canal usado para funções de protecção a nível do caminho.

N1: Monitorização das ligações em cascata.

## Unidade Administrativa AU-4

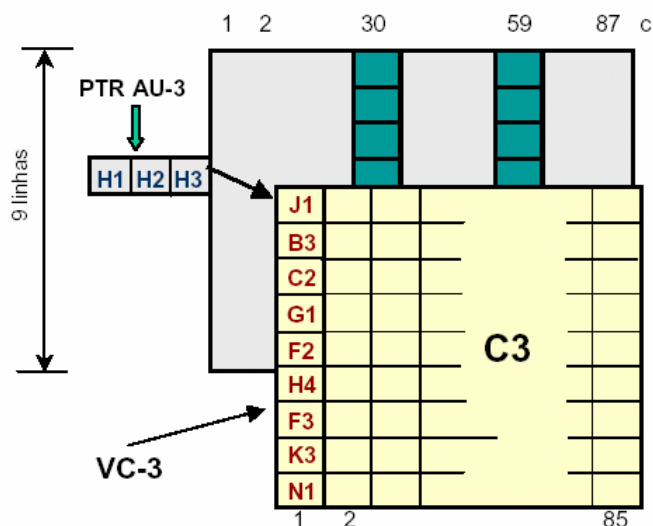
Uma AU-4 é uma estrutura síncrona constituída por  $9 \times 261 + 9$  bytes, que inclui um VC-4 mais um ponteiro de unidade administrativa AU-4 (PTR AU-4).



O VC-4 pode flutuar dentro do AU-4. O ponteiro do AU-4 contém a posição (endereço) do primeiro byte (J1) do cabeçalho de caminho do VC-4.

## Unidade Administrativa AU-3

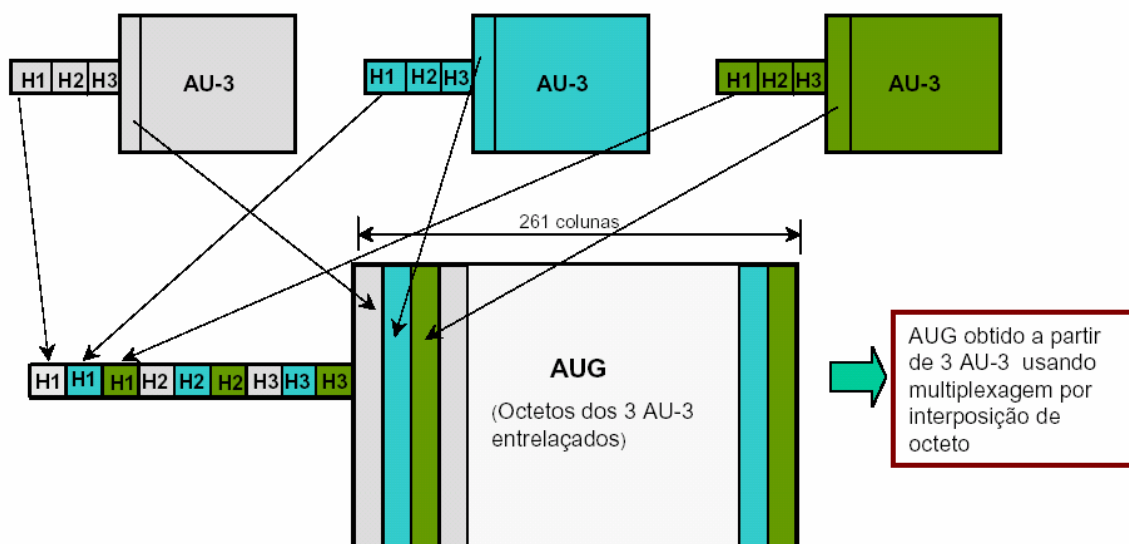
A AU-3 é uma estrutura síncrona composta por  $9 \times 87 + 3$  bytes, que inclui um VC-3 mais um ponteiro da unidade administrativa AU-3 (PTR-AU-3). Como a capacidade de transporte do AU-3 (87 colunas) é superior à requerida pelo VC-3 (85 colunas), são inseridas duas colunas sem informação (justificação fixa) para adaptação de capacidade (colunas 30 e 59).



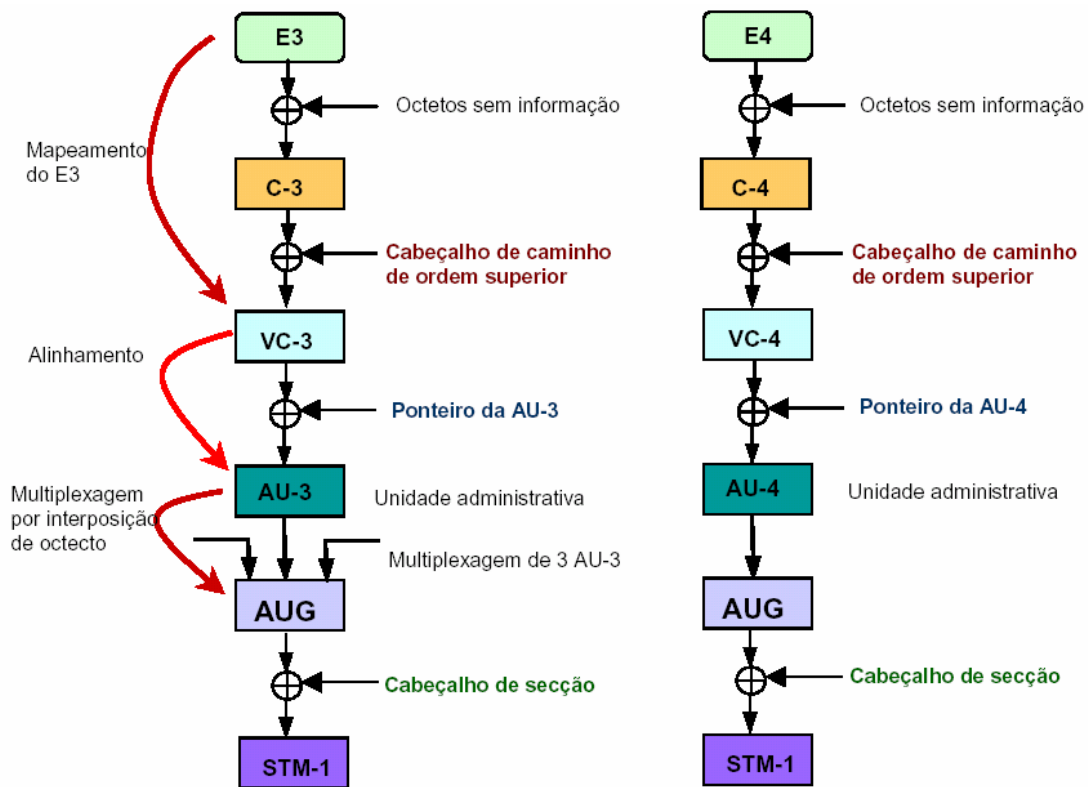
A posição do conteúdo virtual pode flutuar dentro do AU-3. O ponteiro PTR AU-3 contém o endereço do J1.

## Grupo de Unidade Administrativa AUG

O AUG é uma estrutura síncrona constituída por  $9 \times 261 + 9$  bytes, que por adição do cabeçalho de secção dá origem à trama STM-1. Um AUG é composto de 1 AU-4 ou de 3 AU-3 usando multiplexagem por interposição de byte.



## Transporte das hierarquias E3 e E4 em tramas STM-1



## Transporte das hierarquias E3 e E4 em tramas STM-1

### Mapeamento

- Insere tributários nos contentores virtuais preparando a multiplexagem síncrona
- Introduz bits de justificação para compensar diferenças de débitos
- Acrescenta POH (Path Overhead)

## Mapeamento em TU e TUG

### Unidade tributária (TU)

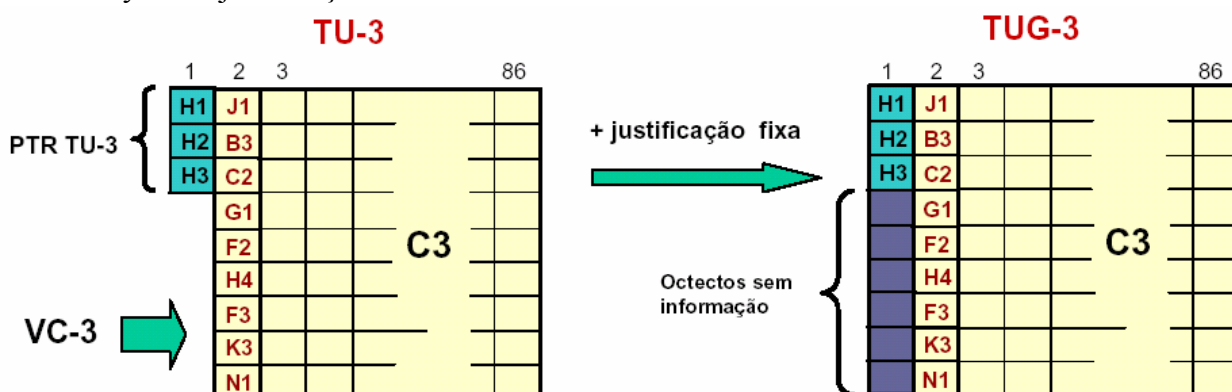
A unidade tributária consiste num **contentor virtual de ordem inferior** mais um **ponteiro da unidade tributária**. Como o VC de ordem inferior pode flutuar dentro do VC de ordem superior, o início do primeiro dentro do segundo é indicado pelo ponteiro da unidade tributária.

### Grupo de unidade tributária (TUG)

Resulta da combinação de várias unidades tributárias por interposição de byte. Em alguns casos é necessário proceder a justificação fixa, para adaptar débitos binários.

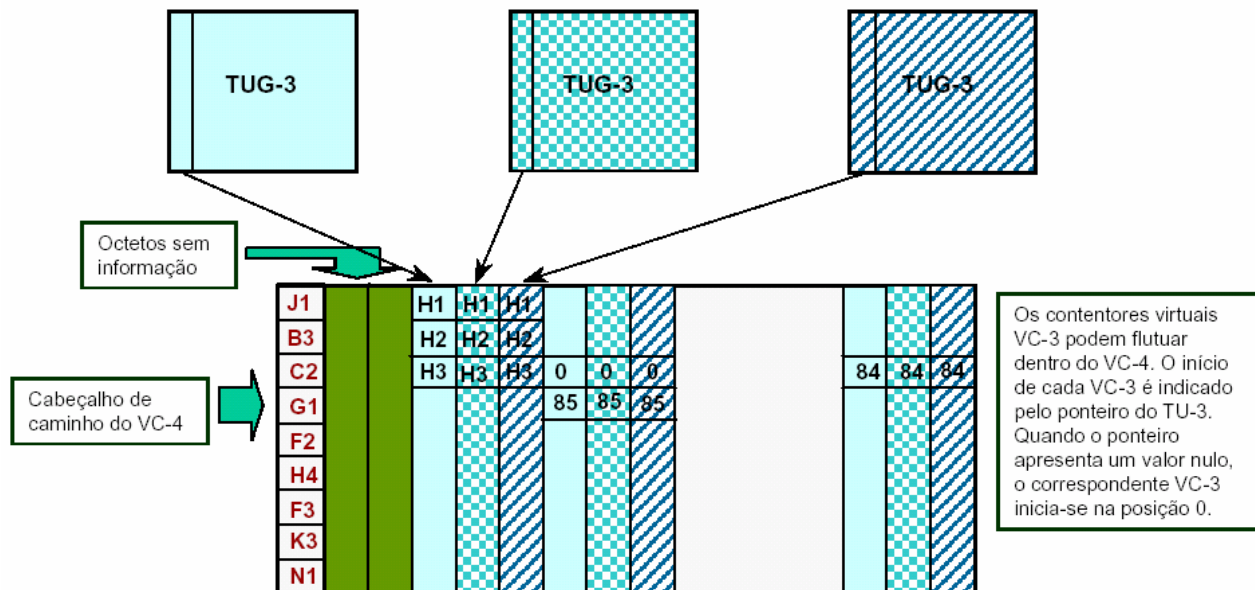
## Mapeamento em TU-3 e TUG-3

Um VC-3 de ordem inferior é transportado numa unidade tributária de nível 3 (TU-3). Um TU-3 é uma estrutura síncrona constituída por  $9 \times 85 + 3$  octetos, que inclui um VC-3 mais um ponteiro de unidade tributária TU-3 (PTR TU-3). Adicionando ao TU-3 seis bytes de justificação fixa obtem-se o TUG-3.

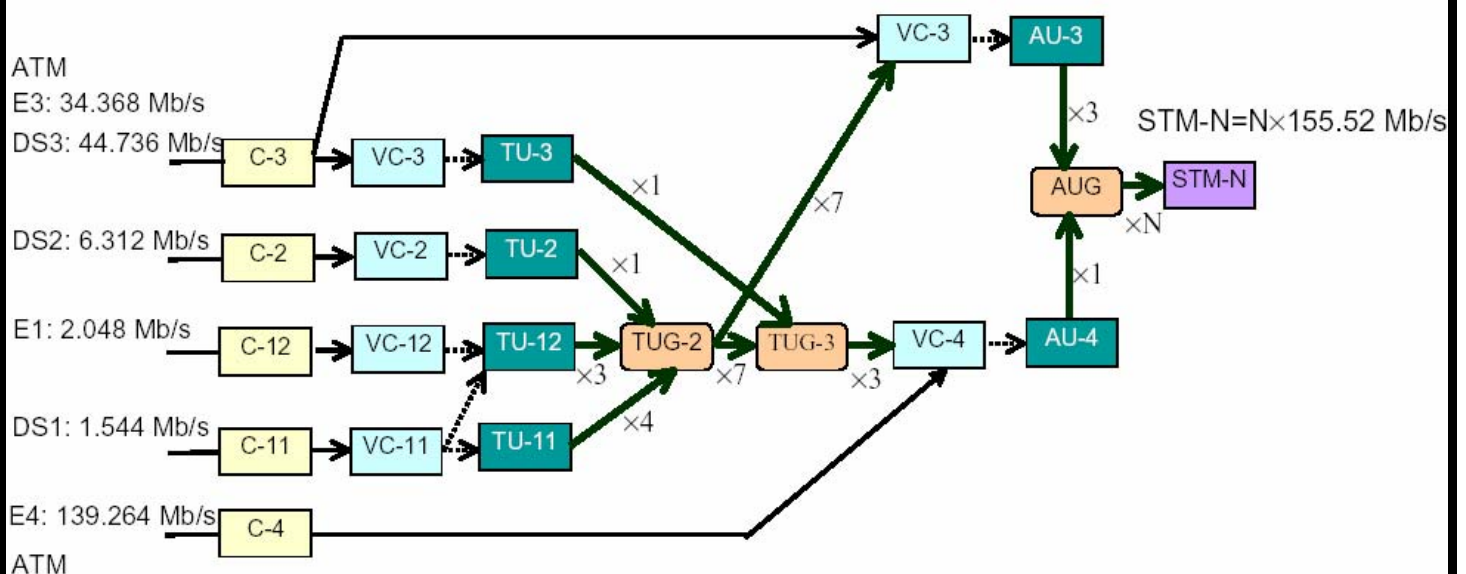


## Mapeamento em TU-3 e TUG-3

Um VC-4 pode formar-se a partir de multiplexagem por interposição de octeto de 3 TUG-3. Como  $3 \times 86 = 258$  colunas é necessário adicionar 2 colunas sem informação para obter as 260 colunas correspondentes ao C-4.

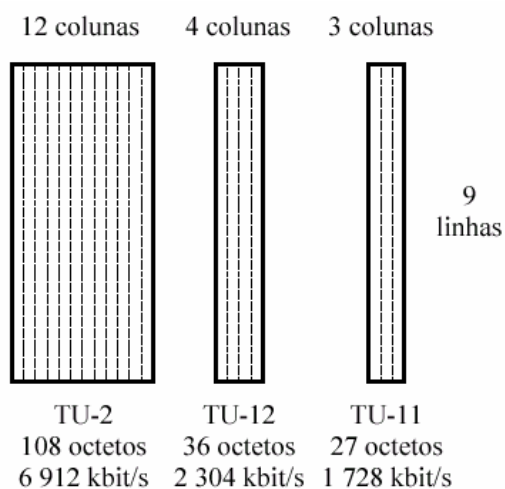


## Estrutura da Multiplexagem do SDH



## Mapeamento em TUG-2

---



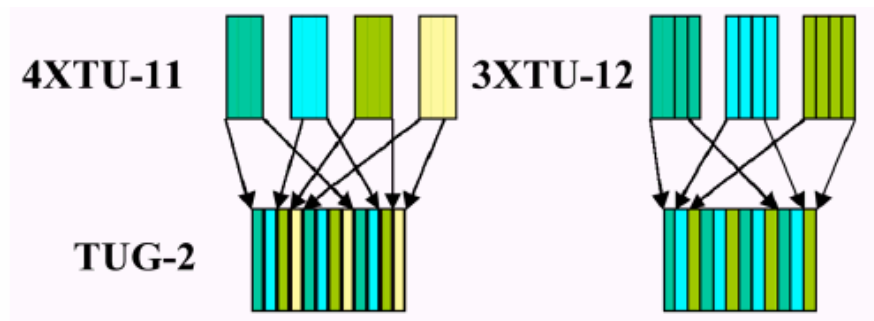
-É possível criar uma unidade tributária de grupo (**TUG- Tributary Unit Group**) por multiplexagem por entrelaçamento de colunas

TUG-2 pode ser criado por:

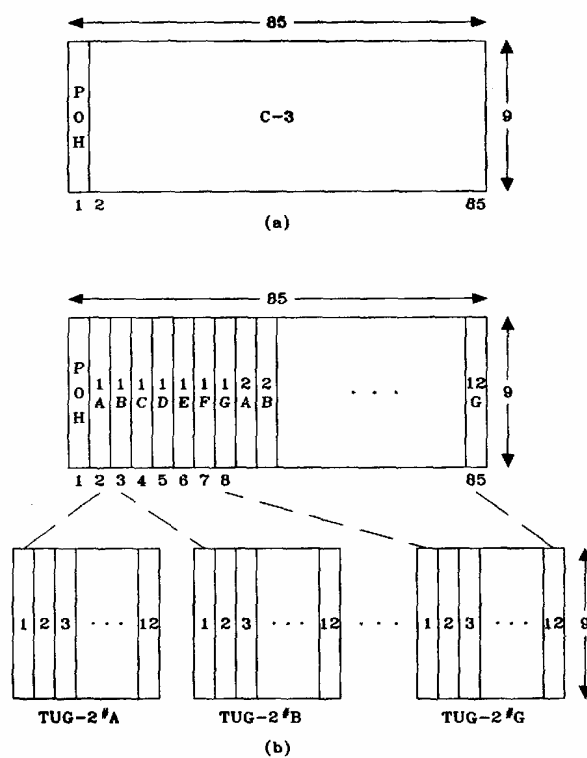
- 4 TU-11 ou
- 3 TU-12 ou
- 1 TU-2

-na criação de um TUG-2 os pontos iniciais de cada multitrama têm de ser idênticos

## Mapeamento em VC-3



## Mapeamento em VC-3



-VC-3 composto por 85 9B colunas, 1º coluna é o POH, cabeçalho de caminho.

-A payload pode ser ou C-3 ou 7 TUG-2 (alinhados em fase).

## ***Concatenação continua AU-4***

---

Este mecanismo é fornecido para permitir a transmissão de débitos superiores ao da capacidade dum contentor C-4.

A vantagem deste método é que a carga não deve ser dividida dado que um contentor virtual continuo é formado num STM-4.

A carga de vários AU-4s consecutivos são ligadas colocando todos os apontadores com um valor fixo, o indicador de concatenação (CI), com excepção do apontador para o primeiro AU-4.

Se a actividade do apontador se tornar necessária essa é efectuada de igual forma para todos eles.

## ***Tramas Flutuantes***

---

-Se a capacidade de um VC-4 não for suficiente para tx uma payload, podem ser utilizadas várias AU-4 encadeadas.

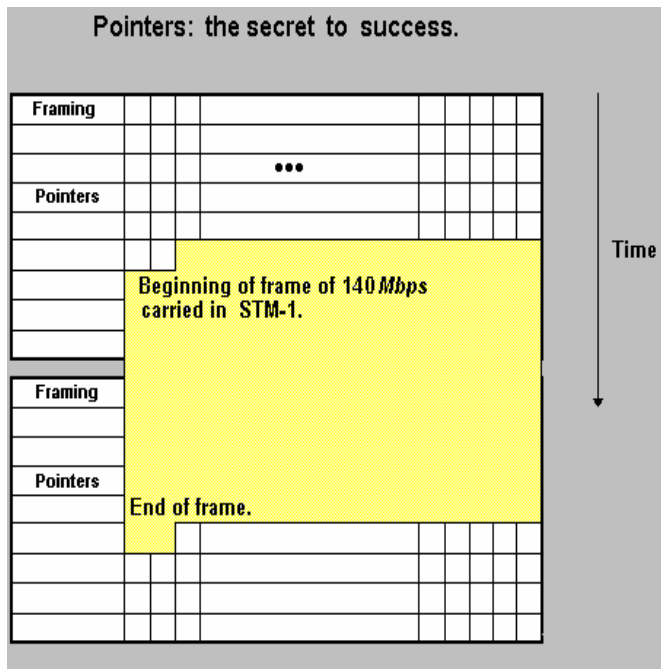
-Como x AU-4 parecem idênticos a x AUG-4, utiliza-se um apontador para indicar o estatuto do encadeamento, ou seja a ordem do AUG-4 no encadeamento.

-O 1º apontador do encadeamento mantém as suas funções normais de apontador e os restantes x-1, indicam a ordem do AU-4 no encadeamento.

-Por exemplo se 2 AU-4 consecutivas podem ser mapeadas numa trama STM-4

-Nem sempre os elementos da rede comutam tramas STM-4, mas sim tramas STM-1, neste caso é da responsabilidade da rede que a sequência correcta do encadeamento de AU-4 não seja perdida.





-Num determinado nó da rede o início da trama recebida pelo nó pode não coincidir com o início da trama transmitida pelo nó.

-Tramas flutuantes têm por objectivo evitar atrasos de sincronização.

-O AU da trama recebida é transmitido num ponto qualquer da trama transmitida.

-Os apontadores da trama STM indicam o início do VC recebido

-O conteúdo do VC estende-se por duas tramas

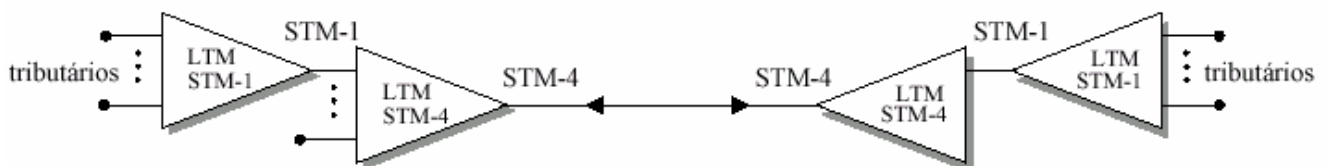
A sobrevivência de redes SDH é garantida através de mecanismos de protecção e mecanismos de restauração

**Protecção** no caso de falha existe equipamento ou canal disponível para ser utilizado (deve de ser implementada em mili segundos)

**Restauração** no caso de falha a rede partilha equipamento ou canais que já estão em uso, neste caso só é utilizada a capacidade da rede disponível. (deve de ser implementada em segundos ou minutos)

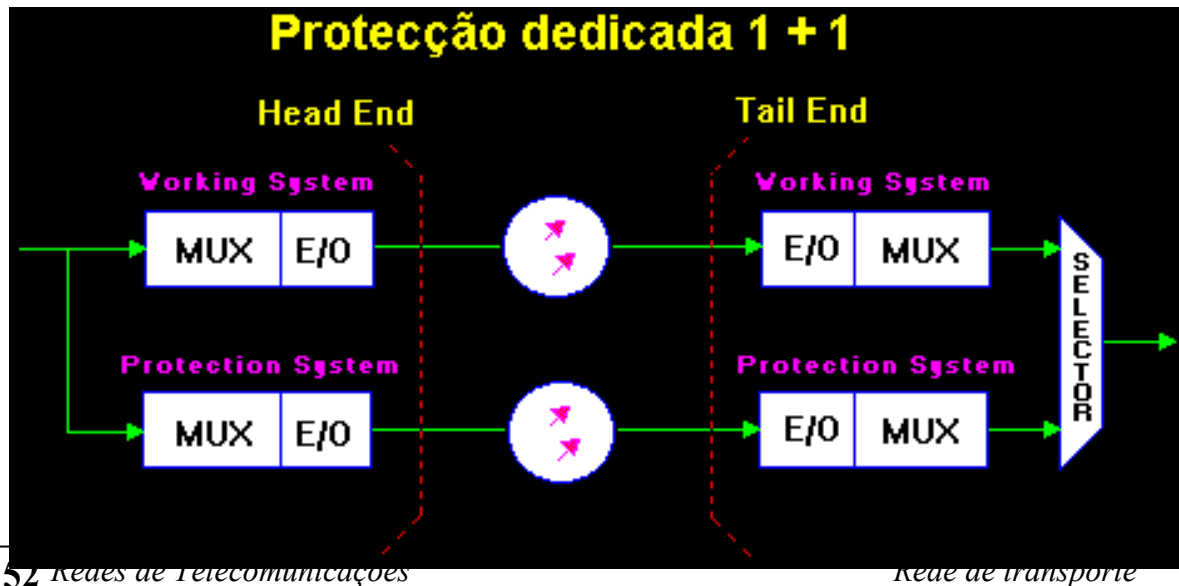
### **Topologia ponto a ponto**

- constituída apenas por multiplexadores terminais de linha em cada extremidade;
- utilizada em ligações específicas entre nós de comutação ou acesso de grandes utilizadores.



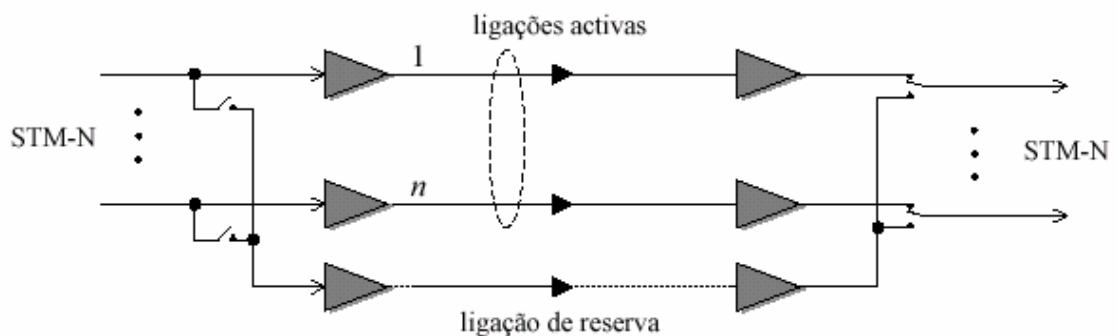
### Protecção dedicada 1+1

- existe um sistema de reserva para cada sistema activo;
- tráfego enviado simultaneamente pelo sistema activo e de reserva
- exige apenas comutação do lado da recepção



### Protecção partilhada

- o nº de sistemas de reserva é inferior ao número de sistemas activos
- o tráfego é enviado pelo sistema de reserva quando ocorrem defeitos ou falhas
- em caso de falha é possível que não esteja disponível nenhum sistema de reserva.

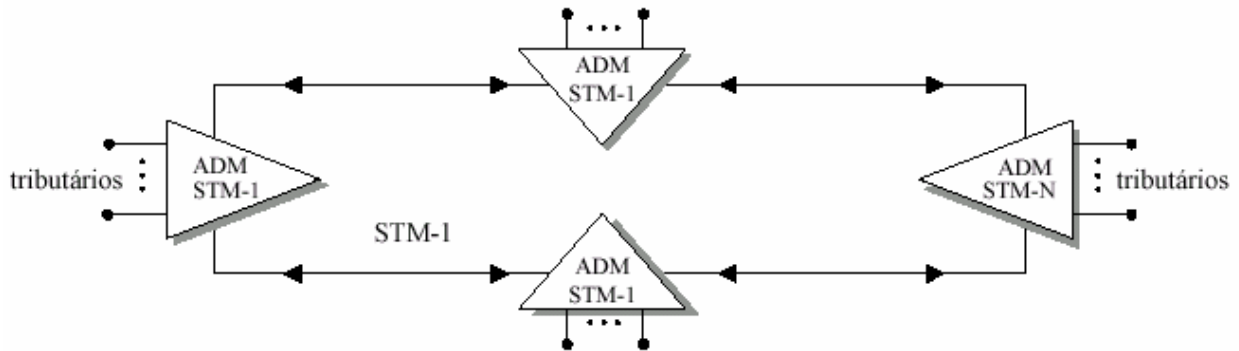


## Sobrevivência em redes SDH

### Topologia em anel

-ligação de ADMs em cadeia fechada

-utilizada para a agregação/distribuição de tráfego em redes urbanas/regionais

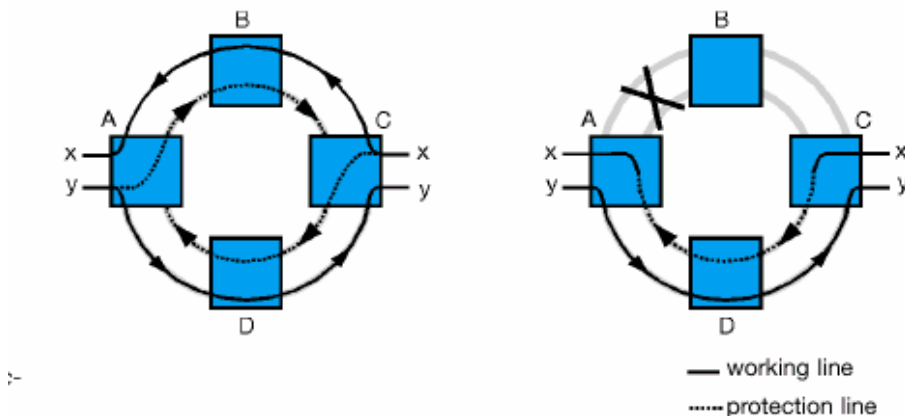


## Sobrevivência em redes SDH

### Anel unidireccional

-tráfego enviado simultaneamente por um anel de reserva

-em caso de falha comuta-se a recepção para o anel de reserva



### **Protecção de anel bidireccional**

- transmissão bidireccional em dois anéis com uma reserva de banda de 50%
- em caso de falha constroi-se um único anel.

