
Multiplexagem Digital

- **Multiplexagem digital síncrona**
- **Multiplexagem digital assíncrona**
- **Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)**
- ***Generic Framing Procedure (GFP)***

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos

Alinhamento de trama

Multitrama

Supervisão

Sistemas básicos

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos

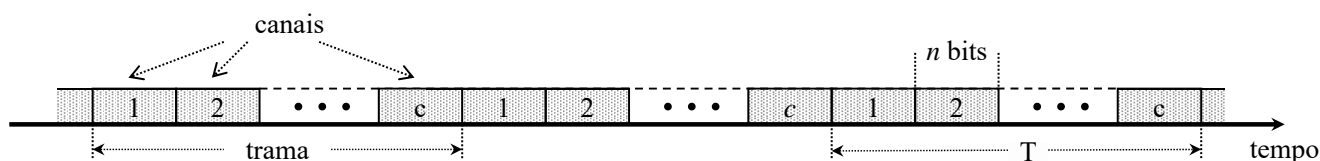
Técnica de **multiplexagem por divisão nos tempos**

TDM, Time Division Multiplexing

- definem-se tramas de duração fixa T constituídas por c intervalos de tempo
- cada canal ocupa ciclicamente na trama um intervalo de n bits
- a identificação dos canais é feita pela posição na trama

Consequências importantes

- o débito de cada canal é constante
- os relógios dos canais têm de estar sincronizados entre si



Débito binário de cada canal

$$r = n / T \text{ (bit/s)}$$

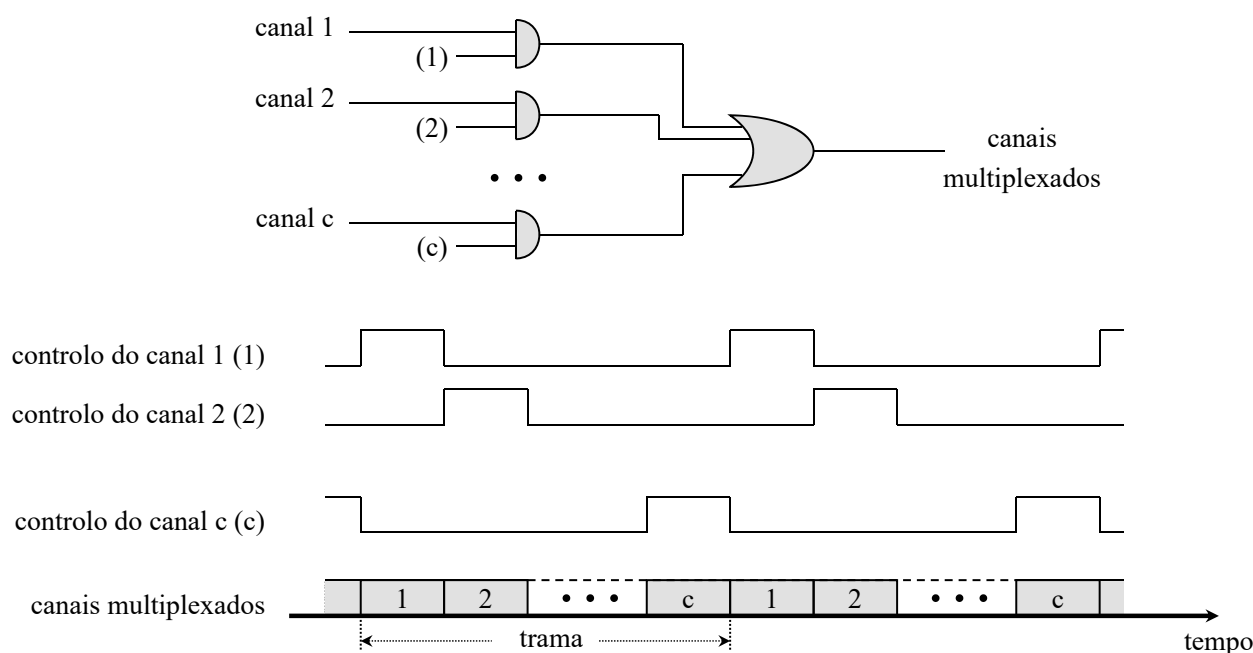
Débito binário total do multiplex

$$r_{tot} = c n / T \text{ (bit/s)}$$

Multiplexagem por divisão nos tempos

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos



Esquema simplificado de um multiplexador síncrono

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos

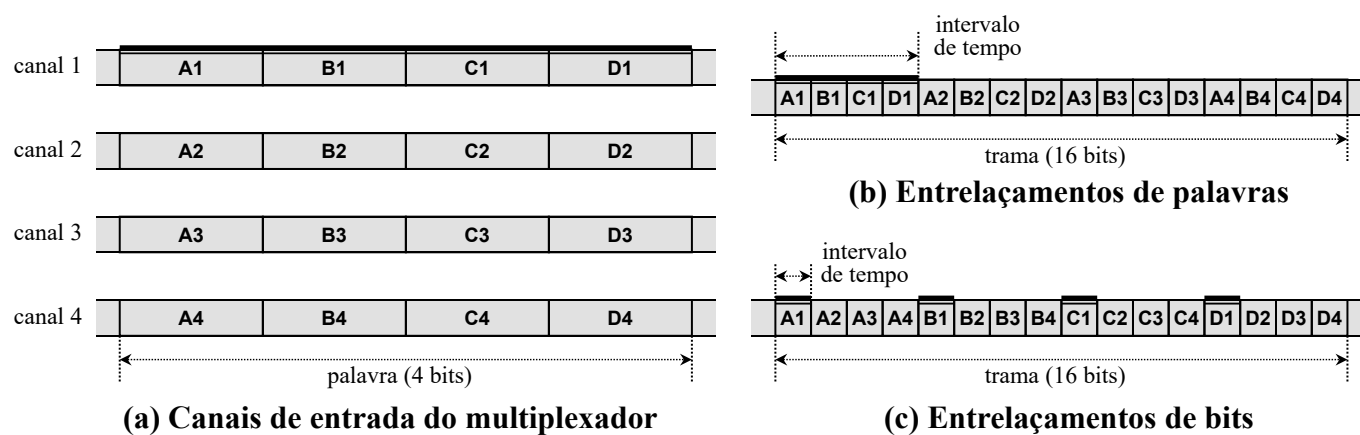
Tipos de entrelaçamento

– entrelaçamento de palavras

cada intervalo de tempo acomoda uma palavra do código do sinal de entrada

– entrelaçamento de bits

cada intervalo de tempo suporta um único bit do correspondente sinal de entrada



Entrelaçamento de palavras e bits

Multiplexagem digital síncrona

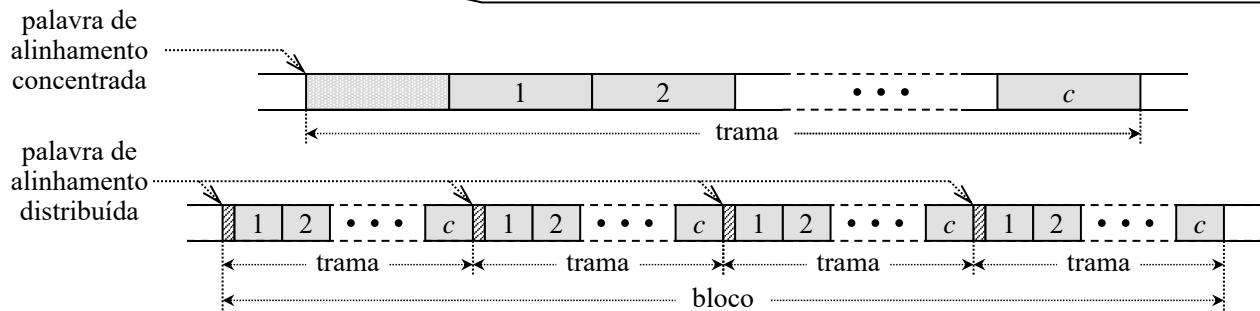
Alinhamento de trama

Necessidade da palavra de alinhamento

- consiste num determinado padrão de bits repetido sucessivamente nas tramas
- permite ao desmultiplexador identificar os limites da trama e recuperar os canais

Tipos de palavras de alinhamento

- concentrada bits consecutivos, inseridos num canal adicional em cada trama
- distribuída bits dispersos, inseridos ao longo de cada trama ou ao longo de cada bloco de várias tramas consecutivas



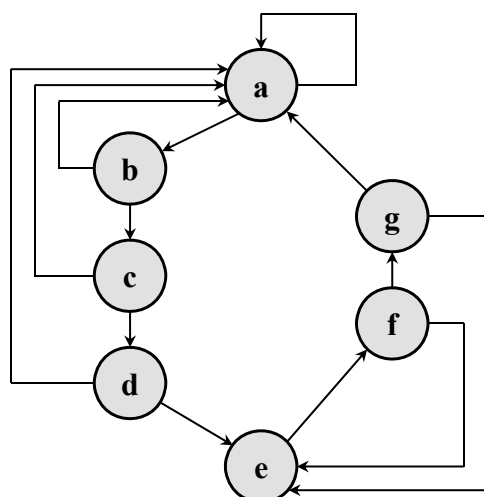
Tipos de palavras de alinhamento

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Estratégia de alinhamento

- garante imunidade a erros esporádicos na palavra de alinhamento
- impede o alinhamento por eventuais imitações da palavra de alinhamento



a: alinhado
a→b: deteção de erro na trama n
b→c: idem, na trama $n+1$
c→d: idem, na trama $n+2$
d→e: idem, na trama $n+3$ → desalinhado, pesquisa bit a bit
e→f: deteção da palavra de alinhamento
f→g: idem, na trama seguinte
g→a: idem, na trama seguinte → alinhado

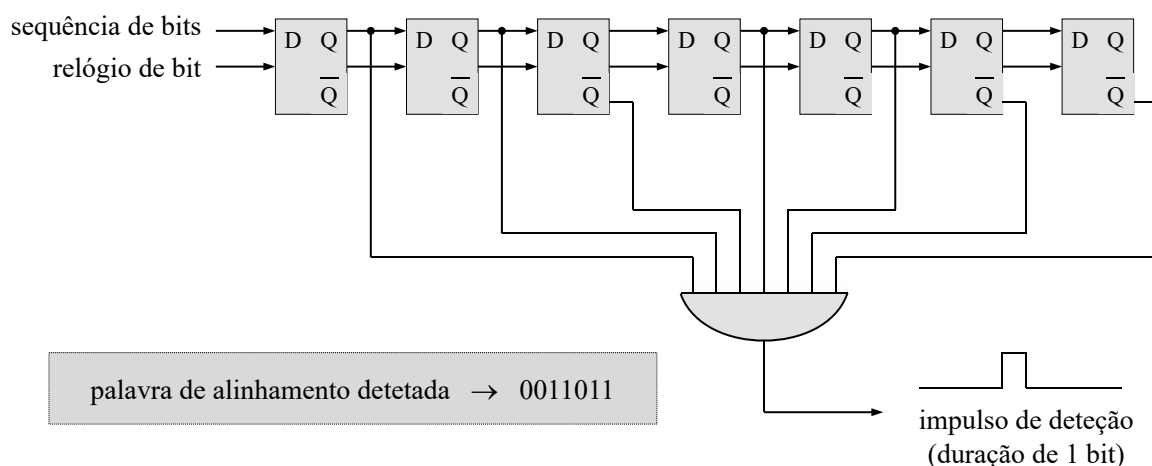
Diagrama de estados do alinhamento de trama (exemplo)

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Deteção da palavra de alinhamento

– pode utilizar-se um simples circuito com registradores de deslocamento



Deteção de alinhamento de trama através de registradores de deslocamento

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Características do padrão da palavra de alinhamento

- imune a imitações anteriores à própria palavra
 - não deverá ser imitada em consequência de erros simples ocasionais
- função de auto-correlação baixa

Exemplos

• Más escolhas do padrão da palavra de alinhamento

padrão: 1111111	sequência: X1111111	imitação se X="1"
padrão: 0101010	sequência: XY0101010	imitação se XY="01"
padrão: 0000001	sequência: X0000001Y	imitação se X="0" e erro no penúltimo bit imitação se Y="1" e erro no último bit

• Boa escolha do padrão da palavra de alinhamento

padrão: 0011011 nenhuma imitação anterior à palavra a não ser com erros múltiplos

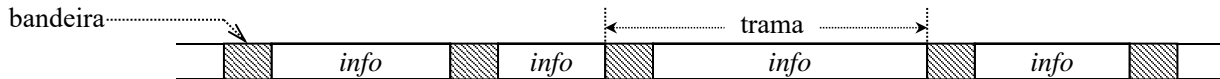
Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Alinhamento em redes orientadas a pacotes

tema estudado em RC

- tramas têm comprimento variável
- palavra de alinhamento designa-se de bandeira (*flag*)
- bandeira não pode ser imitada no campo de informação
- se for necessário enviar dados contendo o padrão da bandeira, alteram-se os bits enviados de forma a não ocorrer imitação



Sequência de tramas delimitadas por bandeiras

Exemplo corrente

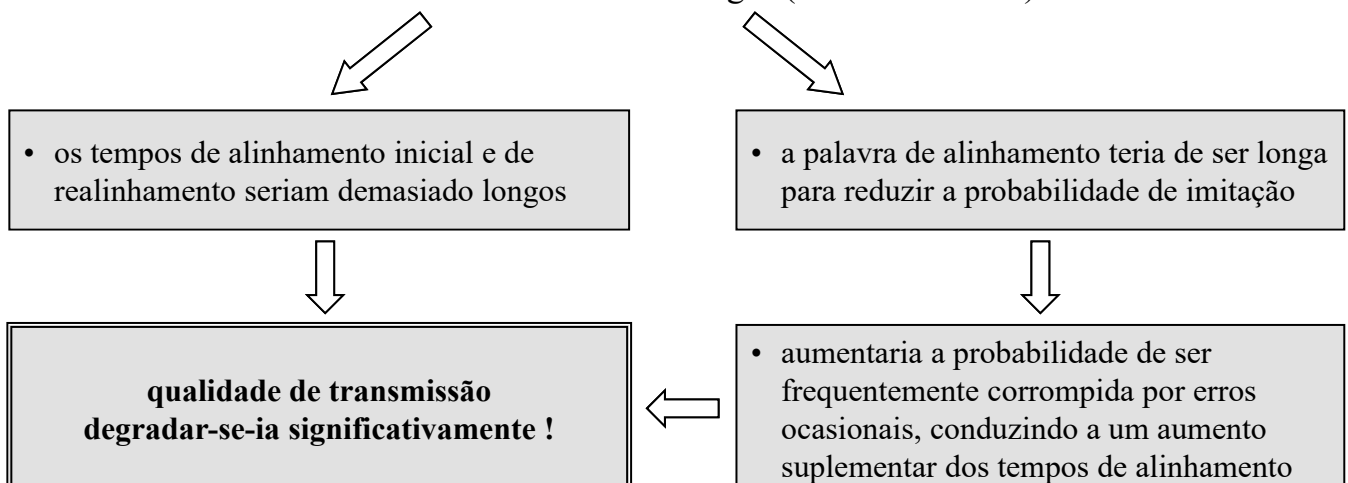
- padrão da bandeira: "01111110"
- emissor: sequência de dados "1111" substituída por "11110" (acrescenta um "0")
- recetor: sequência recebida "1111XY"
 - XY="10" → bandeira
 - XY="11" → erro
 - XY="0Y" → dados: remove o "0"

Multiplexagem digital síncrona

Multitrama

Problema das tramas longas

- alguns canais a transmitir são de baixo débito
 - canais de sinalização
 - canais de supervisão
- as tramas teriam de ser relativamente longas (com muitos bits)



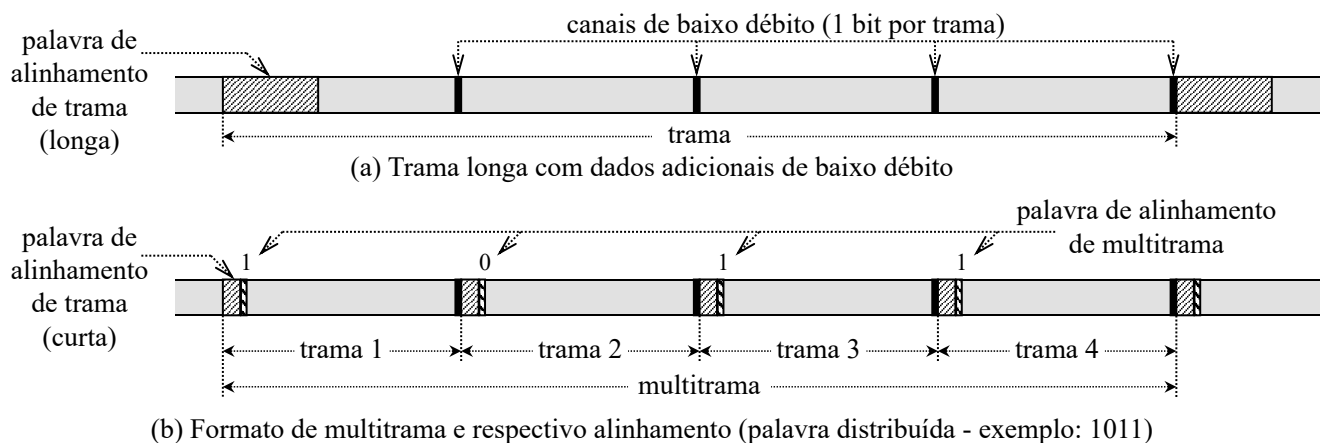
Multiplexagem digital síncrona

Multitrama

Conceito de multitrama

resolve os problemas das tramas longas

- a trama longa passa a ser uma multitrama constituída por (sub)tramas elementares
- cada uma das novas tramas dispõe agora de uma palavra de alinhamento própria
- bits adicionais formam uma palavra de alinhamento de multitrama
- estratégia de alinhamento: primeiro de trama e depois de multitrama



Conceito de multitrama

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

- Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

sistema de "2 Mbit/s"
adotado na Europa

Características gerais

Tramas

- 32 intervalos de tempo (IT0-IT31) de 8 bits
- comprimento total de 256 bits
- frequência de 8 kHz (período 125 μ s)

Multitramas

- 16 tramas
- comprimento total de 4 096 bits
- frequência de 500 Hz (período 2 ms)

Atribuição dos intervalos de tempo

- IT0 reservado para alinhamento de trama, operação e manutenção (O&M) e CRC
- IT16 reservado para sinalização de canal comum (64 kbit/s)
- 30 restantes intervalos de tempo dedicados a dados (64 kbit/s) / canais de voz (8 bits; 8 kHz; lei A)

Sinalização de canal comum (CCS, Common Channel Signalling)

- troca de informação é feita sob a forma de mensagens
- canal de sinalização transporta informação relativa a todos os canais de utilizador da própria ligação e, eventualmente, de outras ligações da mesma rota

Sistemas de Telecomunicações

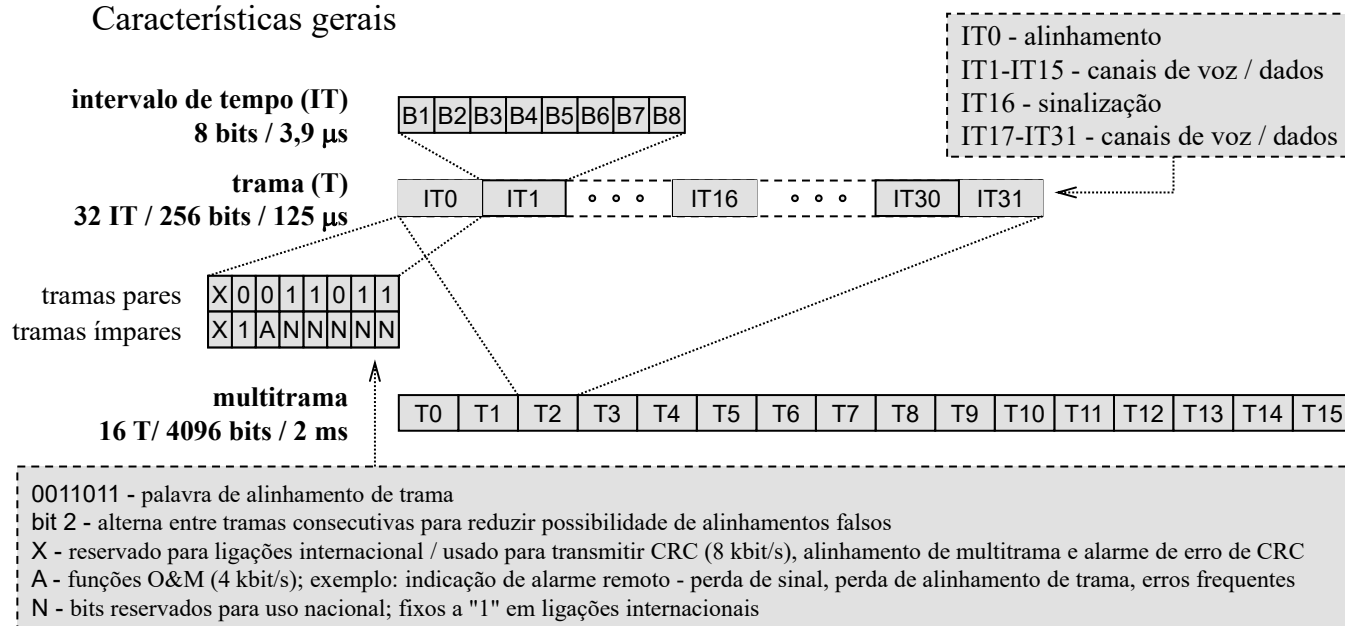
Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

• Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Características gerais



Formato de trama do sistema E1 de multiplexagem de 30 canais

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

• Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Multitrama de verificação redundante cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Check*)

- utilizada em praticamente todos os sistemas atuais
- permite detetar erros de transmissão na trama e impede falsos alinhamentos

Sub multi-trama	Trama	Atribuição dos bits B1 a B8 do IT0								Sub multi-trama	Trama	Atribuição dos bits B1 a B8 do IT0							
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
I	T0	C ₁	0	0	1	1	0	1	1	II	T8	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
	T1	0	1	A	N	N	N	N	N		T9	1	1	A	N	N	N	N	N
	T2	C ₂	0	0	1	1	0	1	1		T10	C ₂	0	0	1	1	0	1	1
	T3	0	1	A	N	N	N	N	N		T11	1	1	A	N	N	N	N	N
	T4	C ₃	0	0	1	1	0	1	1		T12	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
	T5	1	1	A	N	N	N	N	N		T13	E _I	1	A	N	N	N	N	N
	T6	C ₄	0	0	1	1	0	1	1		T14	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
	T7	0	1	A	N	N	N	N	N		T15	E _{II}	1	A	N	N	N	N	N

palavra de alinhamento de multitrama "001011" - distribuída no bit B1 de IT0, nas 6 primeiras tramas ímpares
 C_n - CRC de 4 bits calculado sobre a sub-multitrama (8 tramas) anteriormente enviada
 E_I / E_{II} - indicação de alarme remoto de erro de CRC detectado nas sub-multitramas anteriormente recebidas

Formato da multitrama de CRC do sistema E1

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

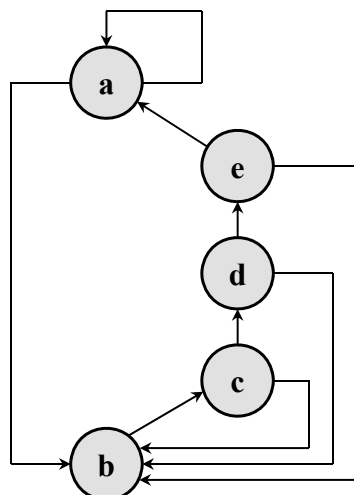
Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

- Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

método preferido
por ser mais fiável



a: alinhado
 a→b: >914 erros de CRC em 1000 cálculos (executados em 1 segundo) → desalinhado, pesquisa bit a bit
 b→c: detecção da palavra de alinhamento
 c→d: detecção de alternância do bit 2
 d→e: detecção da palavra de alinhamento
 e→a: procura do alinhamento de multitrama (padrão "001011" no bit 1 de IT0 das tramas ímpares); verificação de pelo menos 2 CRC corretos em 4 cálculos → alinhado

Diagrama de estados do alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Intencionalmente em branco

Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

Sincronização de relógio por preenchimento de bits nulos nos canais

Sincronização de relógio por preenchimento de bits nulos entre tramas

Hierarquia de multiplexagem plesiócrons (PDH)

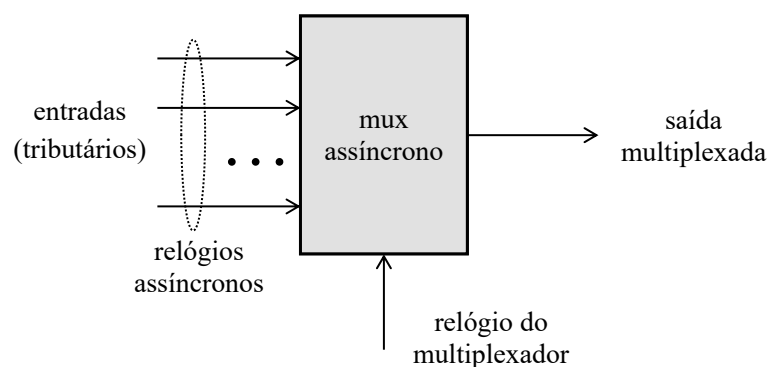
Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

Problema dos escorregamentos

- sinais de entrada têm relógios não sincronizados entre si
- sinal de saída tem um relógio próprio
- a multiplexagem síncrona conduziria a **escorregamentos**

perda de bits ou
inserção de bits falsos



Multiplexador assíncrono

Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

Soluções de multiplexagem assíncrona

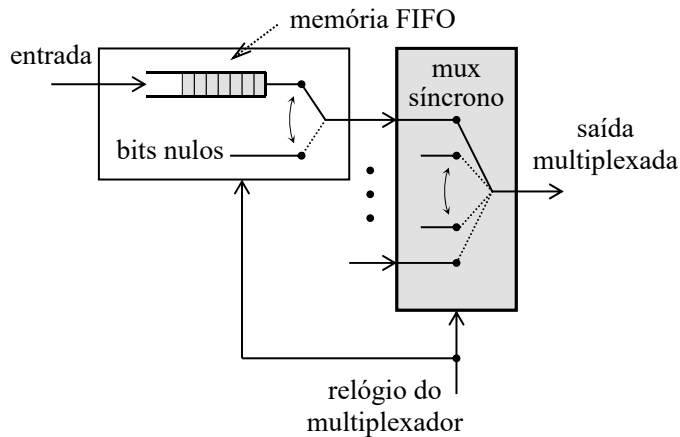
– preenchimento de bits nulos nos canais

– preenchimento de bits nulos entre tramas

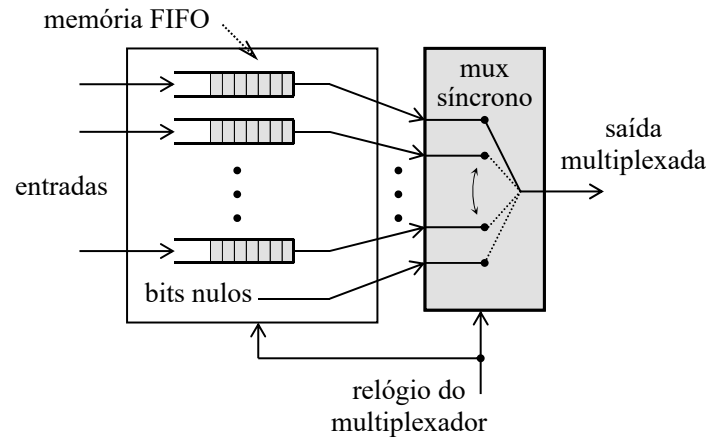
compensam flutuações dos relógios dos sinais

pré-sincronização por canal de entrada

sincronização conjunta



Modelo de multiplexagem assíncrona com pré-sincronização por canal de entrada



Modelo de multiplexagem assíncrona com sincronização conjunta

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Princípio de operação → justificação de bits/octetos

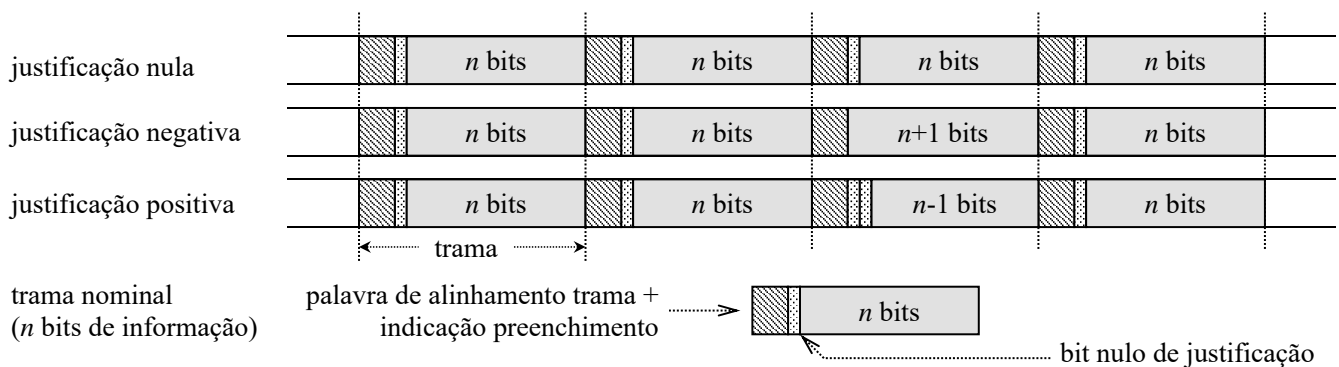
– excesso de bits a transmitir → redução de bits nulos no canal

– déficit de bits a transmitir → aumento de bits nulos no canal

justificação negativa

justificação positiva

- bits simples removidos ou inseridos na trama → *bit stuffing*
- octetos removidos ou inseridos na trama → *octet stuffing*



Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits no canal

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

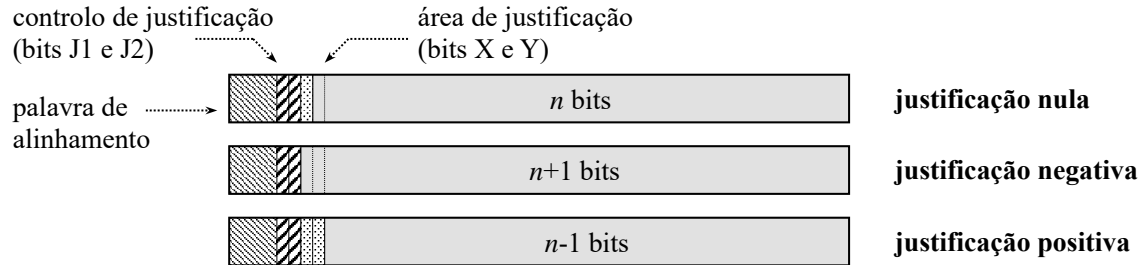
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

– bits de controlo de justificação

aplicação: hierarquia PDH



Tipo de justificação	Bits de controlo de justificação		Ocupação dos bits de justificação	
	J1	J2	X	Y
Nula	0	0	Nulo	Info
Negativa	1	0	Info	Info
Positiva	0	1	Nulo	Nulo

bit nulo

bit informação

Trama hipotética com justificação controlada por bits específicos na trama

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

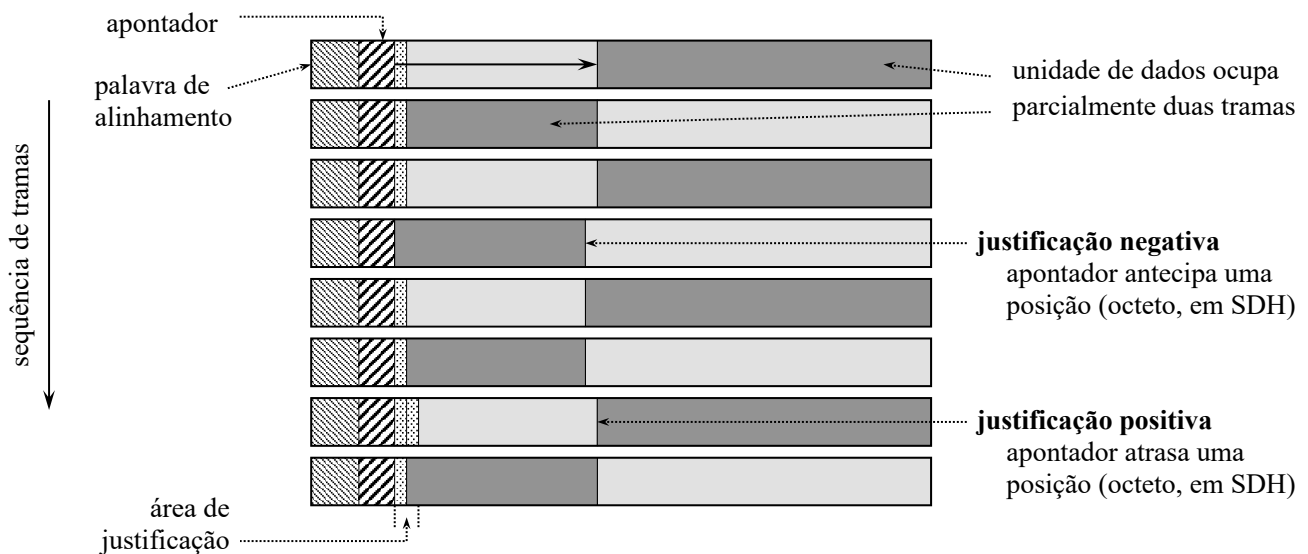
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

- definem-se unidades de dados flutuantes nas tramas
- apontadores indicam início das unidades de dados

aplicação: hierarquia SDH



Trama hipotética com justificação controlada por apontadores

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

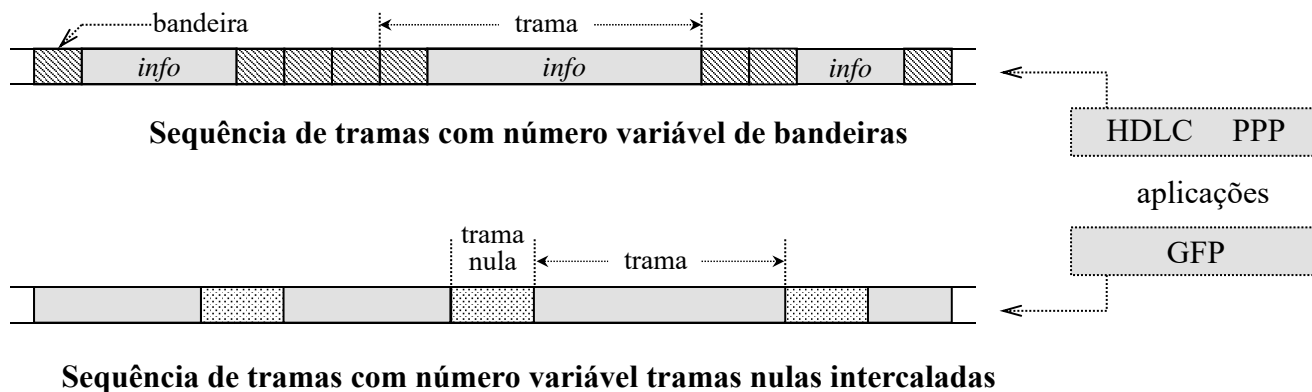
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos entre tramas

Princípio de operação → inserção variável de bandeiras/tramas de preenchimento

- excesso de bits a transmitir → redução de bits nulos entre tramas
- déficit de bits a transmitir → aumento de bits nulos entre tramas

- bandeiras removidas ou inseridas entre tramas → *flag stuffing*
- tramas nulas removidas ou inseridas entre tramas de informação → *frame stuffing*

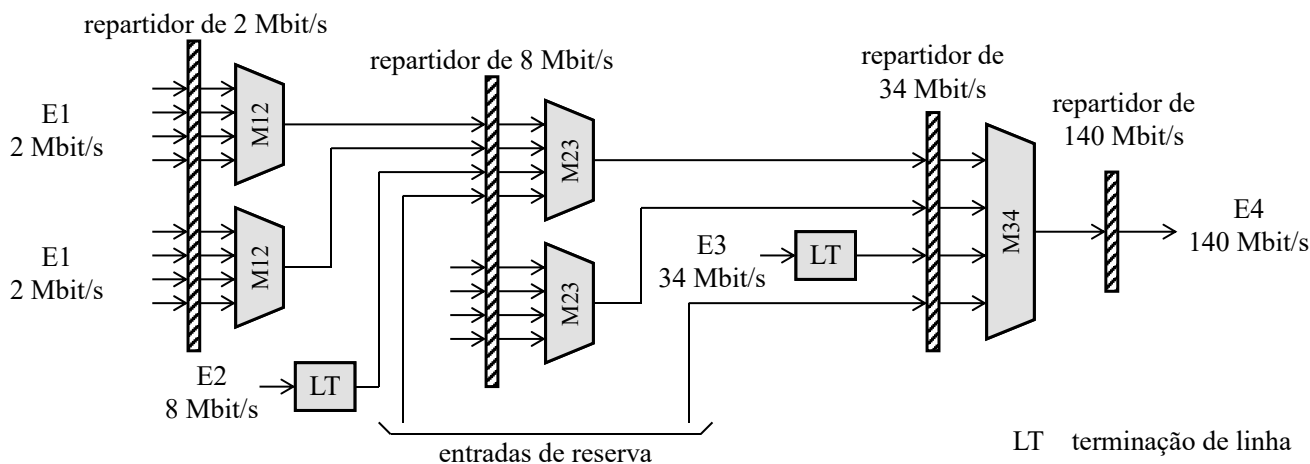


Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrona (PDH)

Princípios básicos

- 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 (plesiócrons)
- a multiplexagem é assíncrona com justificação apenas positiva / nula



Multiplexagem num sistema digital plesiócrono (sistema europeu)

Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrons (PDH)

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, fibras ópticas)
 - crescimento através da adição de novos equipamentos mantendo os anteriores

Limitações

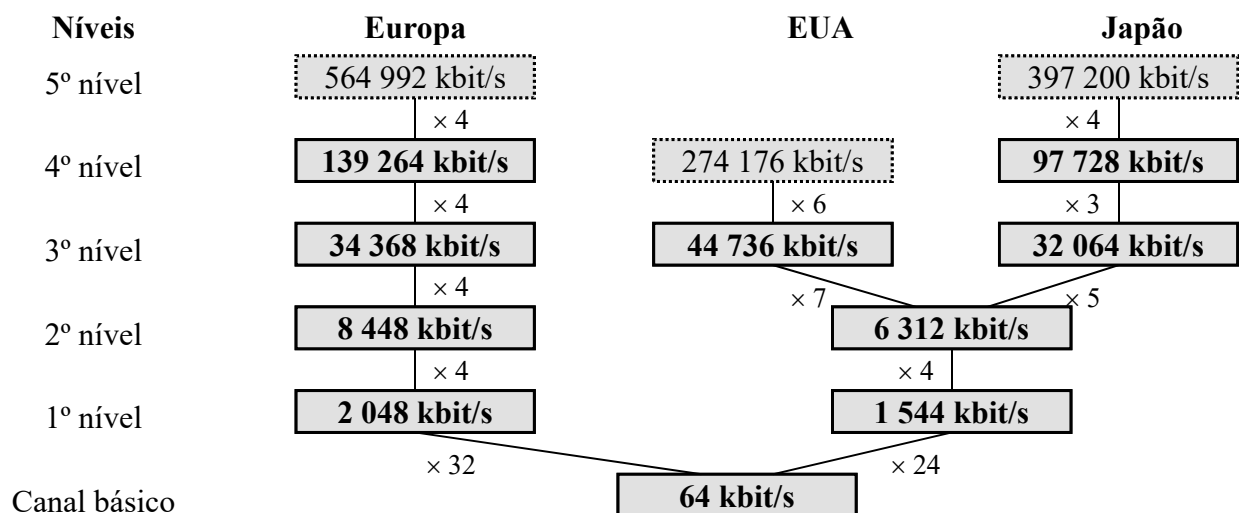
-
- taxas de transmissão limitadas a cerca de 500 Mbit/s
 - capacidade rudimentar de operação e manutenção muitos sistemas proprietários
 - reconfiguração simples mas manual (alteração física de ligações nos repartidores)
 - acesso a um tributário obriga à desmultiplexagem de todos os níveis superiores

Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrons (PDH)

Sistemas PDH internacionais

- dois sistemas diferentes normalizados pela UIT Recomendação G.702 e seguintes
- não houve acordo internacional



Sistemas PDH internacionais

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios básicos

Vantagens e limitações da hierarquia SDH

Arquitetura

Estrutura de trama

Funções gerais de *overhead*

Princípios de multiplexagem

Operação e manutenção

Redes SDH

Aplicação de sistemas SDH na rede de transporte

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

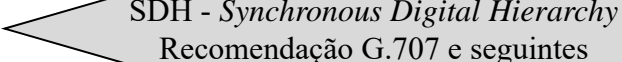
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios básicos

História

– primeiros sistemas ópticos usavam técnicas proprietárias (codificação, OAM, etc.)

– EUA estabelecem norma ANSI (1988)  SONET - *Synchronous Optical Network*

– UIT estabelece norma única (1990)  SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*
Recomendação G.707 e seguintes

Sistema hierárquico

– cada sinal de um nível é obtido a partir de 4 tributários do nível anterior

– a multiplexagem é síncrona, por entrelaçamentos de octetos

STM-N
*Synchronous
Transport
Module -
Level N*

Hierarquia Digital Síncrona (SDH)

Nível	Débito (Mbit/s)
STM-1	155,52
STM-4	622,08
STM-16	2 488,32
STM-64	9 953,28

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Vantagens e limitações da hierarquia SDH

- elevadas taxas de transmissão, acompanhando a evolução tecnológica
- inserção/remoção directa de tributários de qualquer módulo
- funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM)
 - grande fiabilidade, com proteção contra falhas
 - possibilidade de reconfiguração remota por procedimentos de gestão
- ⊕ – pequeno conjunto de equipamentos normalizados (Elementos de Rede / *Network Elements* - NE) permite desenvolver qualquer rede SDH
- arquitetura flexível adaptada aos vários níveis da rede de transporte
- compatível com interfaces da hierarquia plesiócrons (suporte de tributários PDH)
- compatível com RDIS de Banda Larga (suporte de fluxos de células ATM)
- possível suportar tráfego de dados (interfaces Ethernet 10/100 BaseT e Gbit)
- ⊖ – baseada no modo de circuito

dificuldade em suportar tráfego variável com elevada eficiência

Sistemas de Telecomunicações

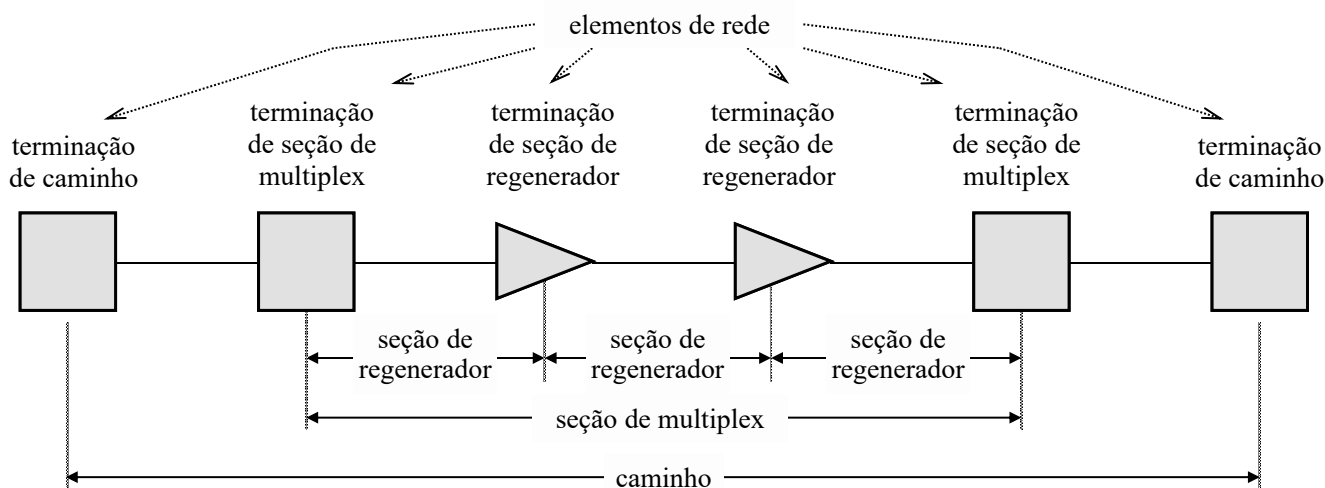
Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

Características gerais

- define uma hierarquia de camadas funcionais da rede de transporte
- cada nível tem atribuído uma etiqueta adicional (*overhead*) para funções de OAM



Camadas funcionais SDH

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

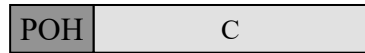
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

Contentores virtuais (VC, *Virtual Containers*)

- são as unidades de informação de utilizador
- incluem etiquetas adicionais (*overhead*) do caminho
- circuitos são suportados em diferentes contentores virtuais de acordo com o débito

contentor virtual - VC, *Virtual Container*



contentor - C, *Container*
(carga do VC: dados de utilizador)

adicional de caminho - POH, *Path Overhead*
(funções de OAM relativas ao caminho)

	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

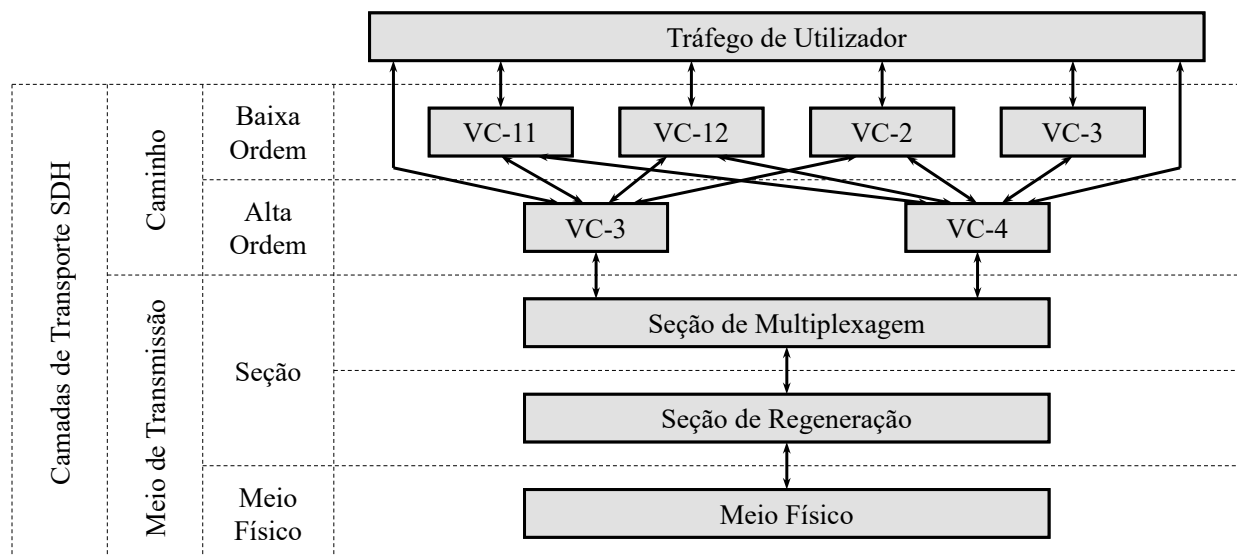
Estrutura e capacidade da carga dos contentores virtuais

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

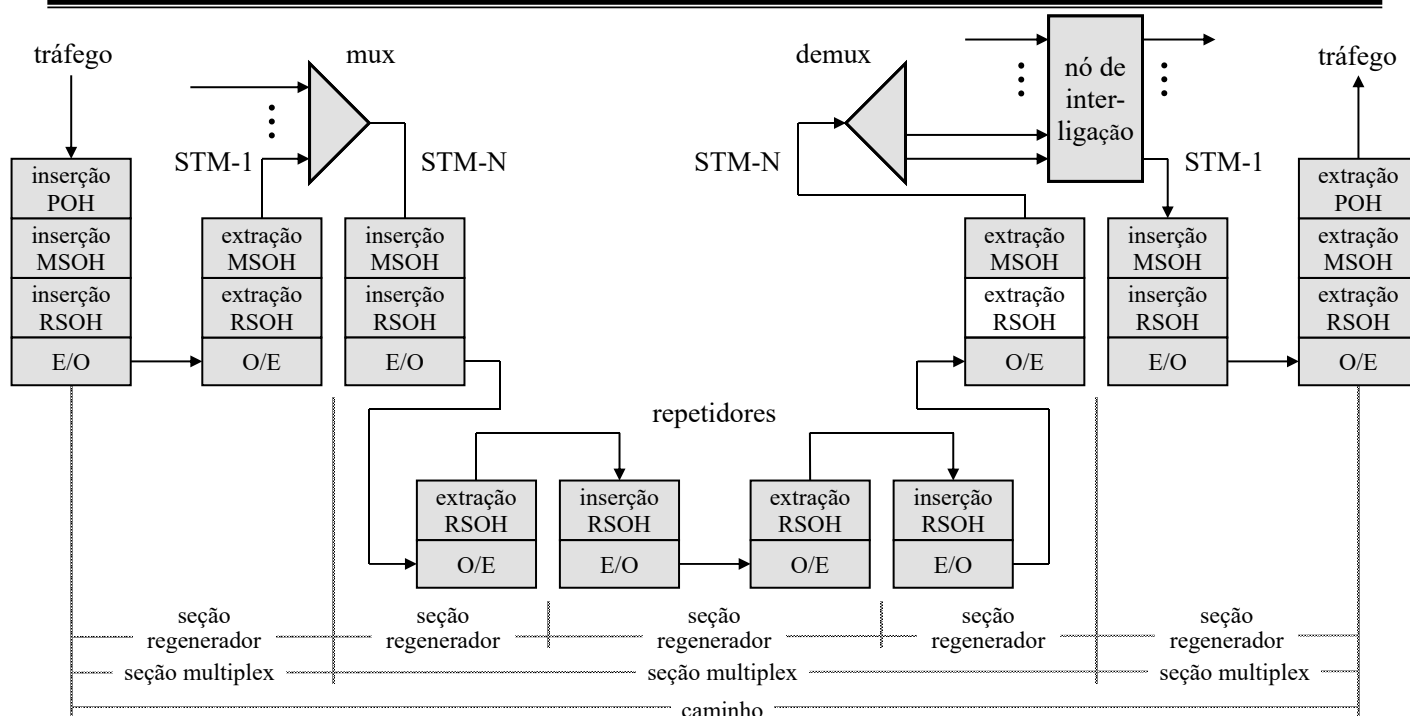
Modelo de camadas

- mostra a relação entre as camadas de transporte SDH



Modelo de camadas SDH

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

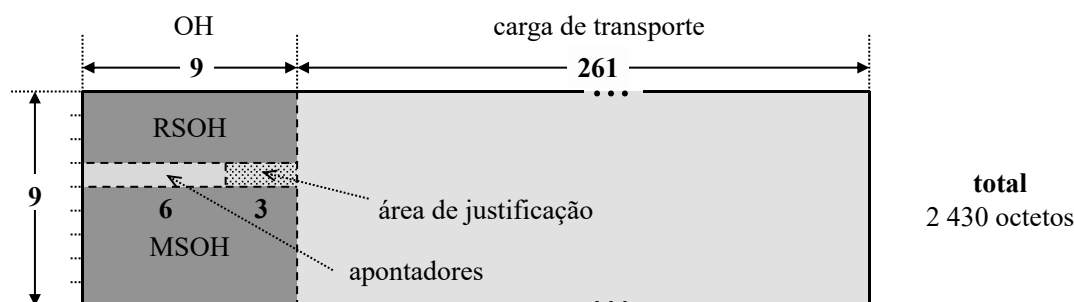


POH - Path Overhead
MSOH - Multiplex Section Overhead
RSOH - Regenerator Section Overhead

Exemplo de uma rede SDH

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Estrutura de trama



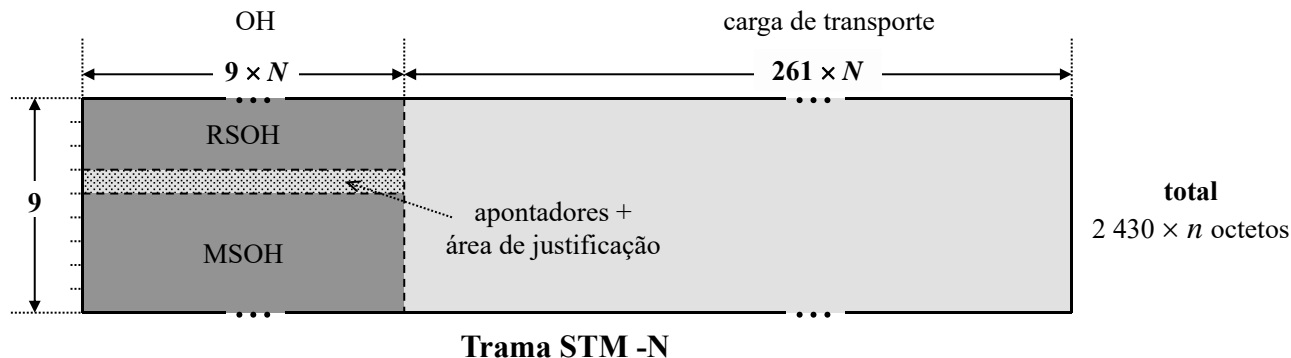
Trama STM -1

Características da trama STM-1

- período: 125 μ s / frequência: 8 kHz
- overhead de transporte
 - apontadores dinâmicos para unidades de informação (Contentores Virtuais de Ordem Alta)
 - overhead de seção de regenerador (RSOH, Regenerator Section Overhead)
 - overhead de seção de multiplex (MSOH, Multiplex Section Overhead)
- carga de transporte: 9 \times 261 octetos (mais até 3 octetos no caso de justificação negativa)
 - apontadores dinâmicos para unidades de informação (Contentores Virtuais de Ordem Baixa)
 - unidades de informação de utilizador (Contentores Virtuais)
 - overhead de caminho (POH, Path Overhead)

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Estrutura de trama



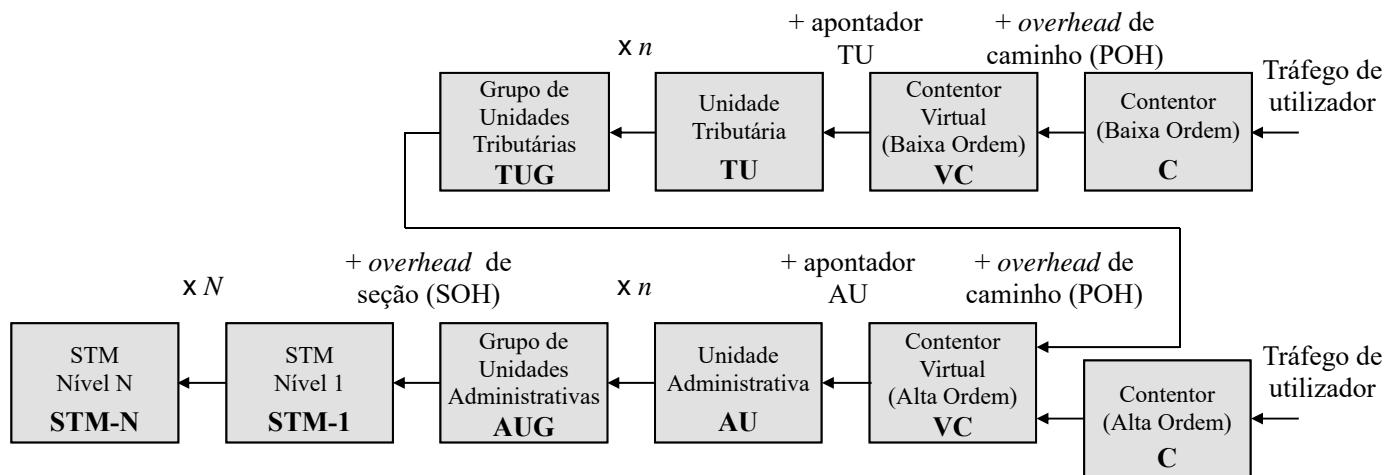
Características da trama STM-N

- período: $125 \mu s$ / frequência: 8 kHz
- entrelaçamento de octetos de N tramas STM-1

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Estruturas de multiplexagem



Conteúdo C
Conteúdo Virtual VC = C + etiqueta adicional de caminho (POH)
Unidade Tributária / Administrativa TU / AU = VC + apontador

Estruturas de multiplexagem

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 (<i>stuffing</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • introduz octetos de justificação para ajustar posição de VCs num TU ou AU e adaptar flutuações de débitos

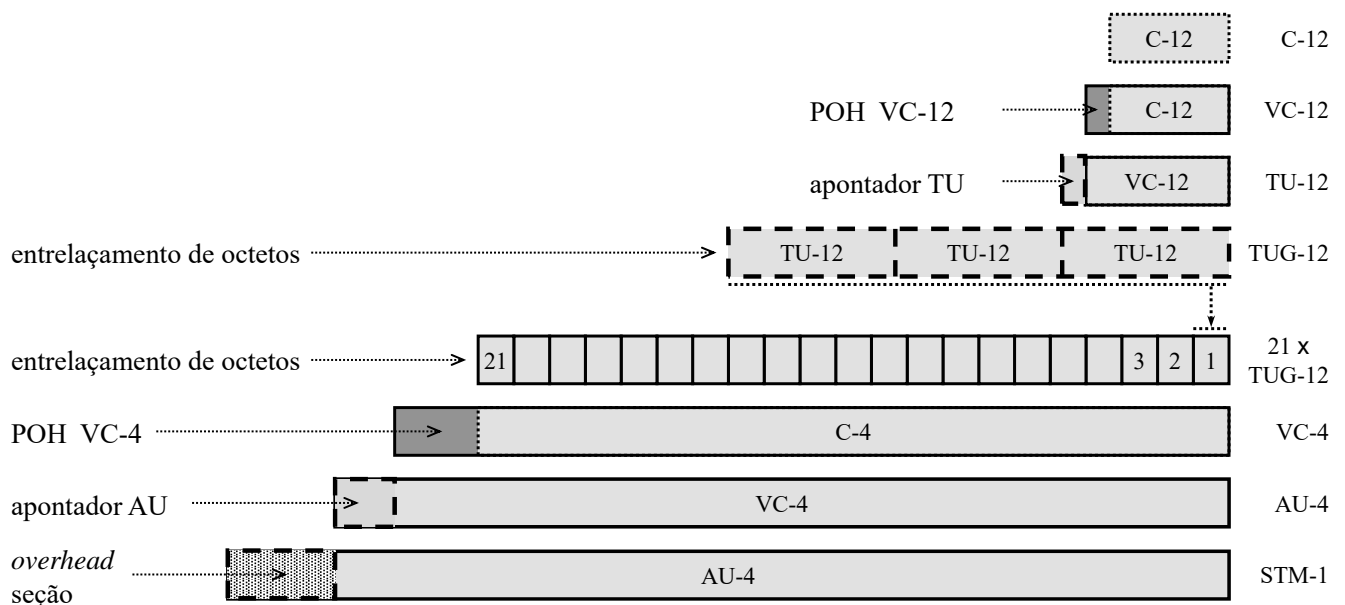
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Exemplo de multiplexagem



Estrutura STM-1 baseada em AU-4 e TUG-2

Sistemas de Telecomunicações

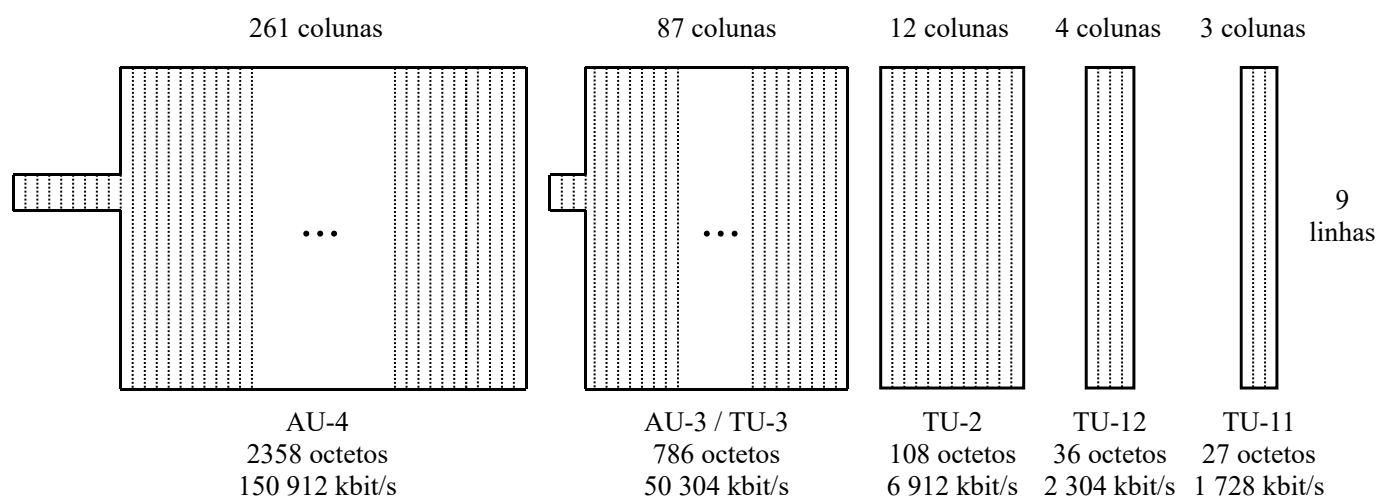
Sistemas de Multiplexagem Digital

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

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores

- multiplexagem sem apontadores

- memórias elásticas de alinhamento de VCs nas interfaces de montagem
 - introduz atrasos excessivos (até 125 μ s por interface @ 2 Mbit/s /VC-12)

- 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 (plesiócrons)
 - qualquer estrutura pode flutuar relativamente àquela em que está contida
 - requer pequenas memórias elásticas: atraso introduzido reduzido
 - introduz-se uma pequena histerese para evitar correções excessivas

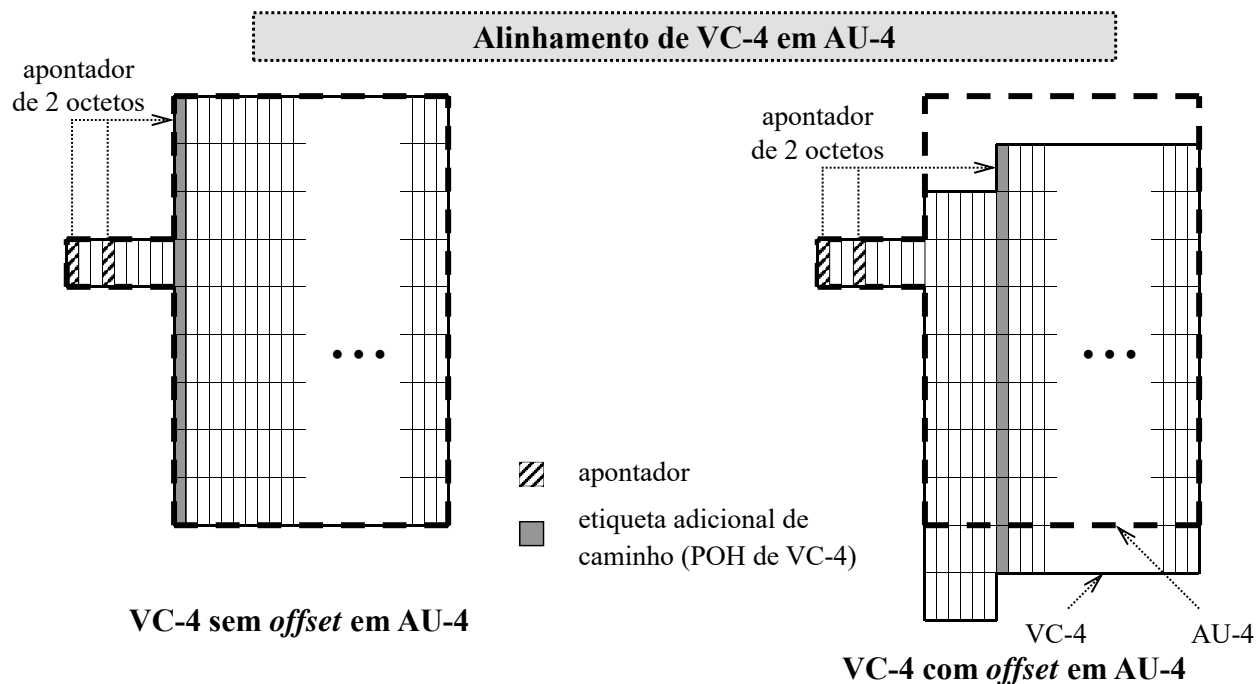
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores



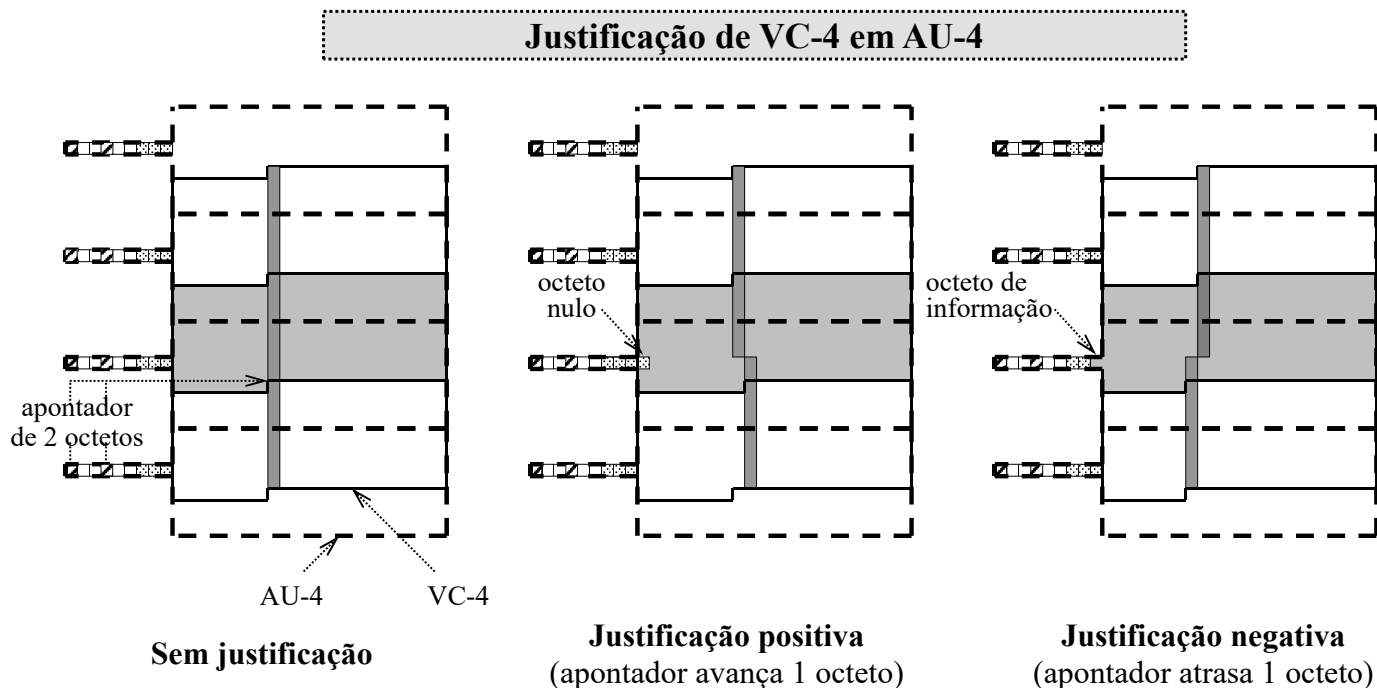
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios de multiplexagem

Operação com apontadores



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

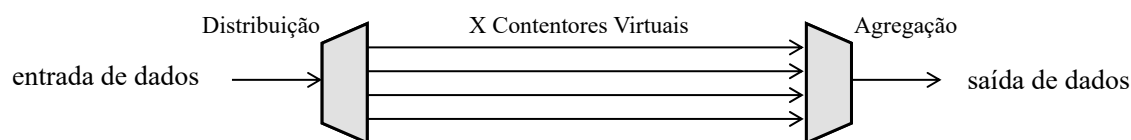
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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-Xv	$1\,600 \times X$ ($X=1$ a 64)	$X=5$: 10 Mbit/s $X=2$: 100 Mbit/s (Fast Ethernet) $X=7/64$: 1/10 Gbit/s (1/10 Gb Ethernet)
VC-12-Xv	$2\,176 \times X$ ($X=1$ a 64)	
VC-3-Xv	$48\,384 \times X$ ($X=1$ a 256)	
VC-4-Xv	$149\,760 \times X$ ($X=1$ a 256)	

Concatenação virtual – capacidades possíveis e exemplos do transporte de Ethernet

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Operação e manutenção

Objetivos de operação e manutenção

- minimização do impacto de defeitos e falhas sobre a qualidade de serviço
- usa a informação de supervisão transmitida nos *overheads*
- recorre a ações preventivas, sempre que possível
 - ocorrência de anomalias indicia 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	• mínima discrepância entre o que foi observado e o que era desejado
Defeito	• frequência de anomalias atingiu um limite a partir do qual deixa de ser possível executar satisfatoriamente uma determinada função
Falha	• 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 falha foi detectado

Exemplo de operação de um sistema de proteção de falhas

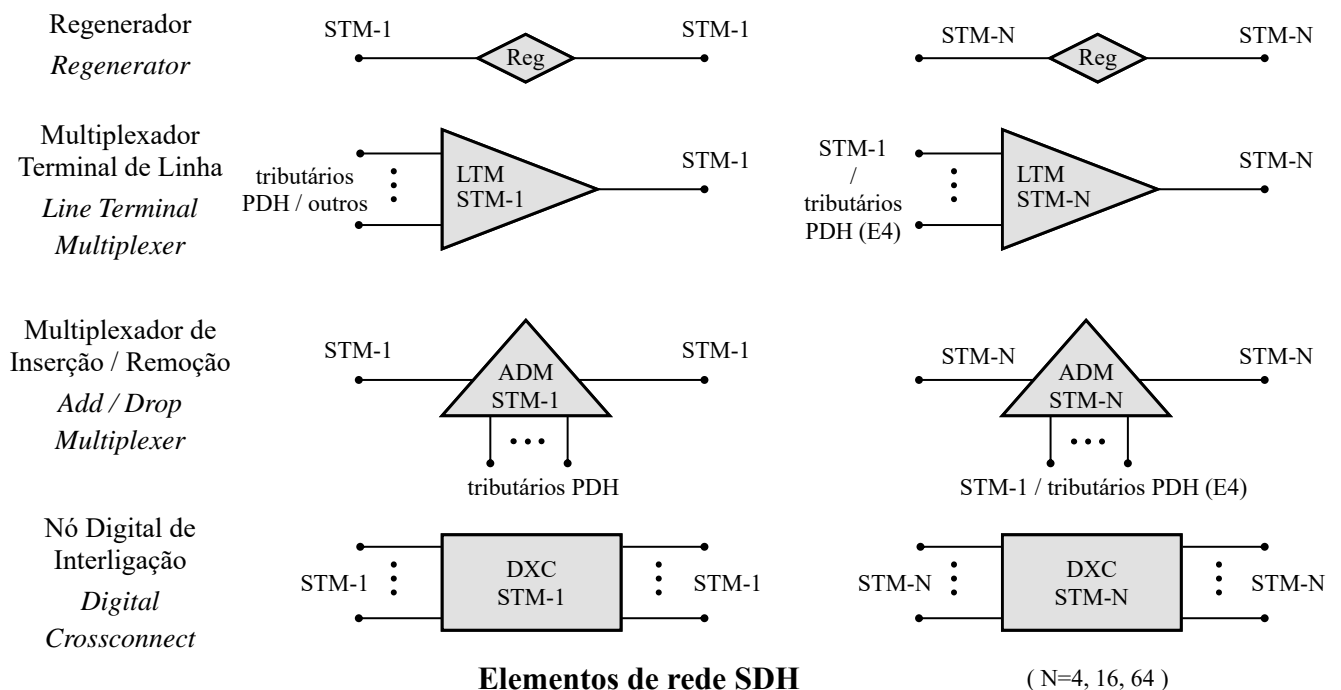
- monitoração de desempenho visando controlo de qualidade e ação preventiva
- deteção de falhas através da verificação funcional contínua ou periódica
- localização de falhas através de sistemas de teste internos ou externos
- proteção do sistema através de
 - isolamento e exclusão de serviço da entidade 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



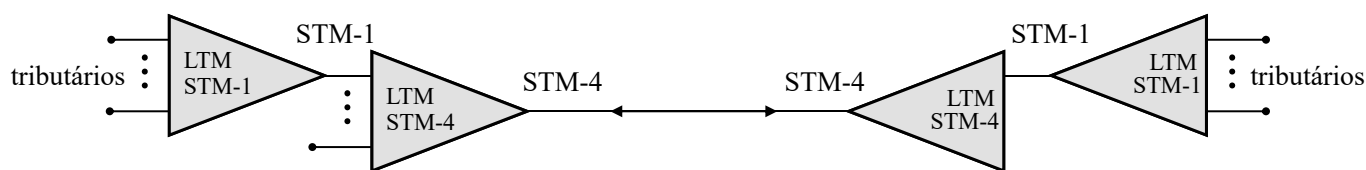
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias

Ponto-a-ponto

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



Topologia ponto-a-ponto

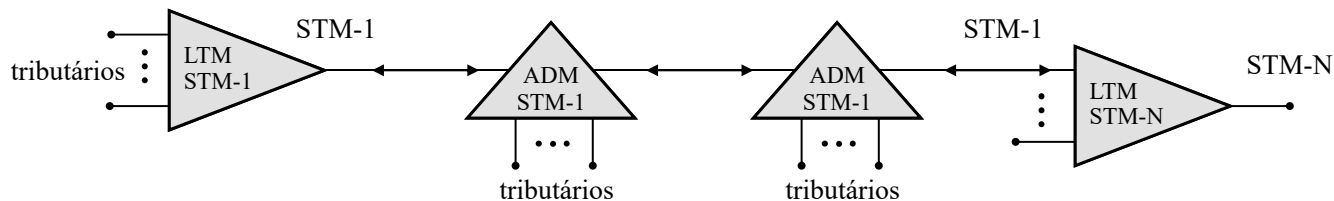
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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)

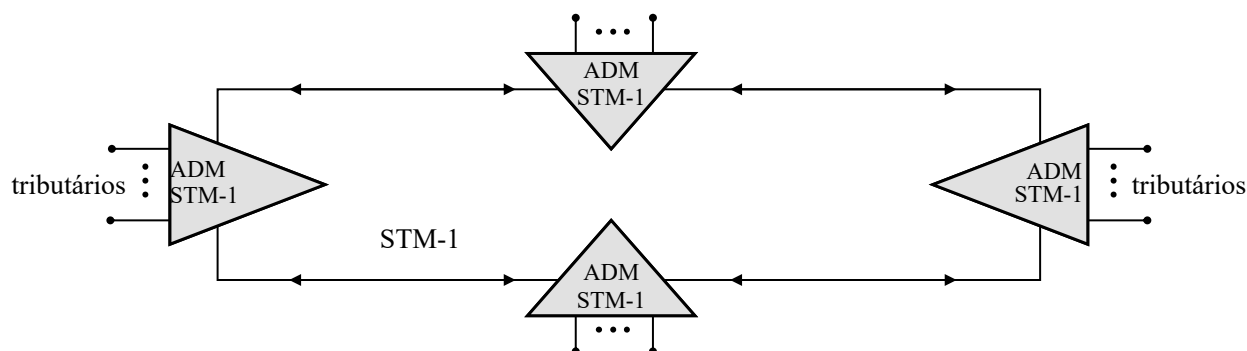
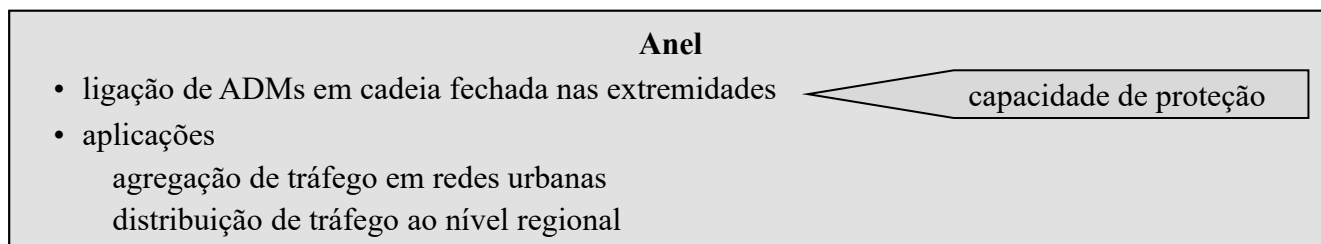


Topologia ponto-a-multiponto

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias



Topologia em anel (bidirecional)

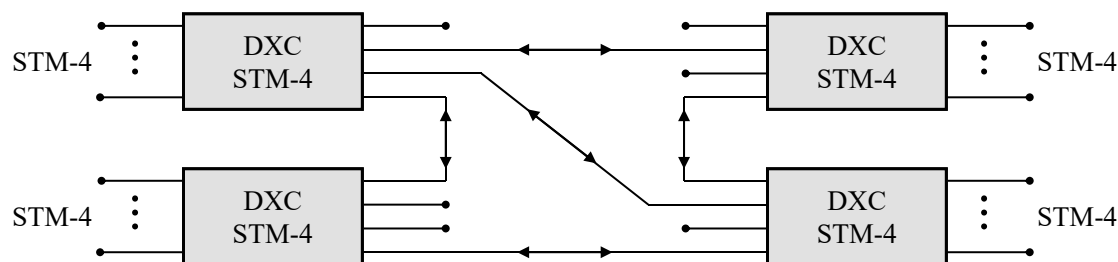
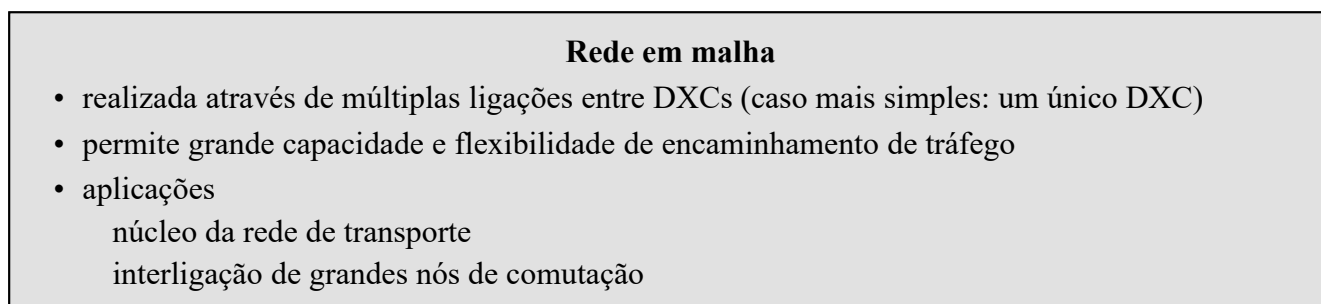
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Topologias



Topologia em malha

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

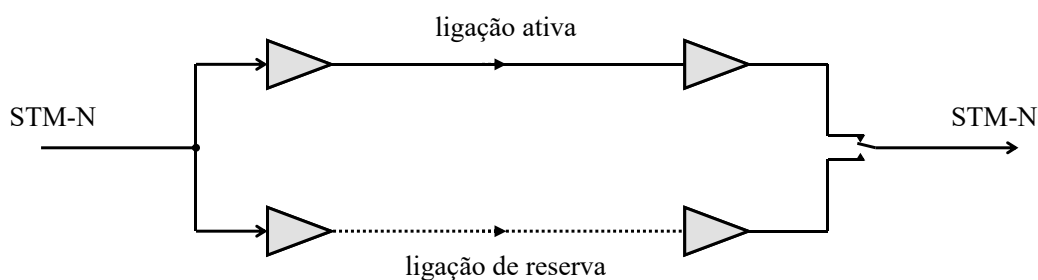
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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

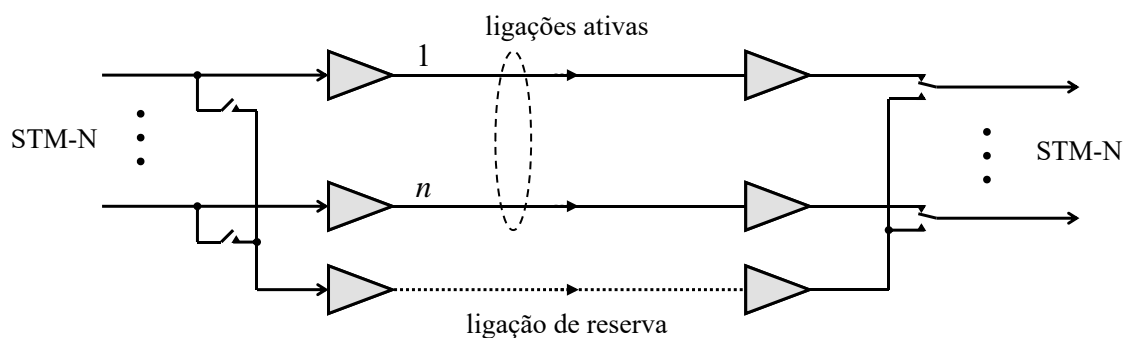
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Redes SDH

Proteção automática

Proteção partilhada de ligações simples

- um sistema de reserva para cada n sistemas ativos
- tráfego 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

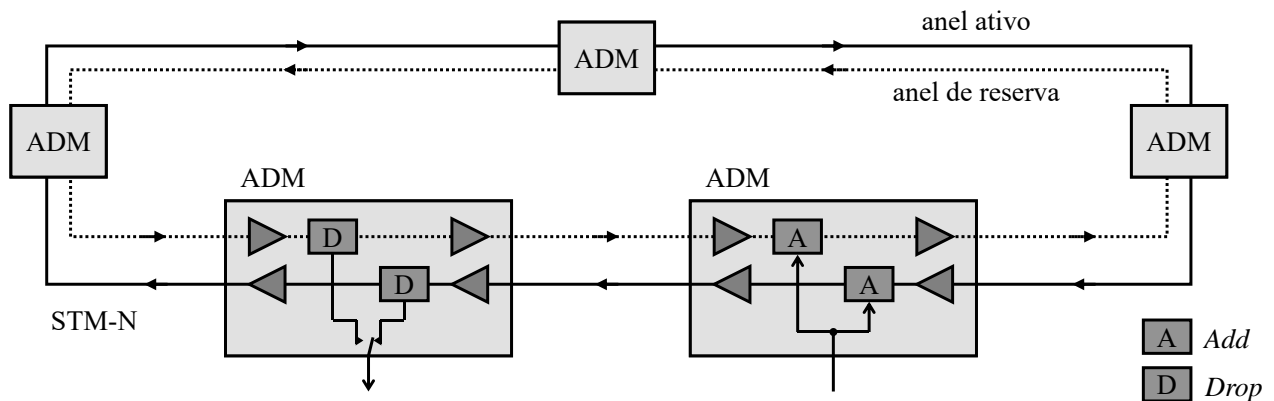
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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 recepção em cada ADM para o anel de reserva



Configuração de proteção de um anel unidirecional com duas fibras

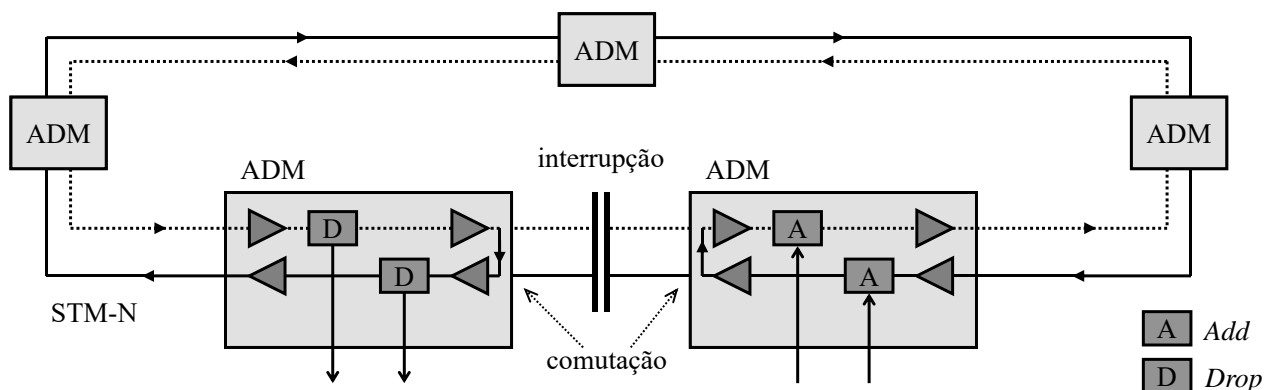
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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

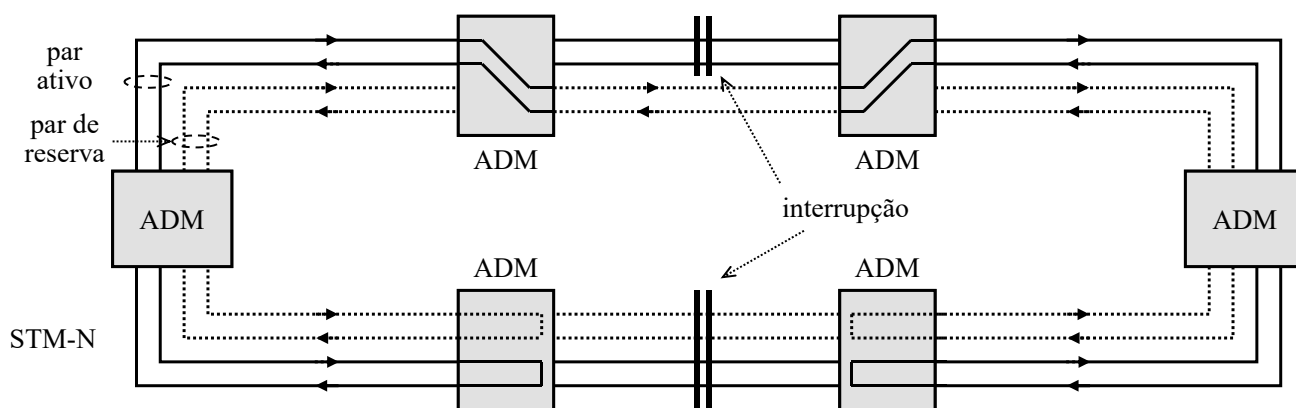
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

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

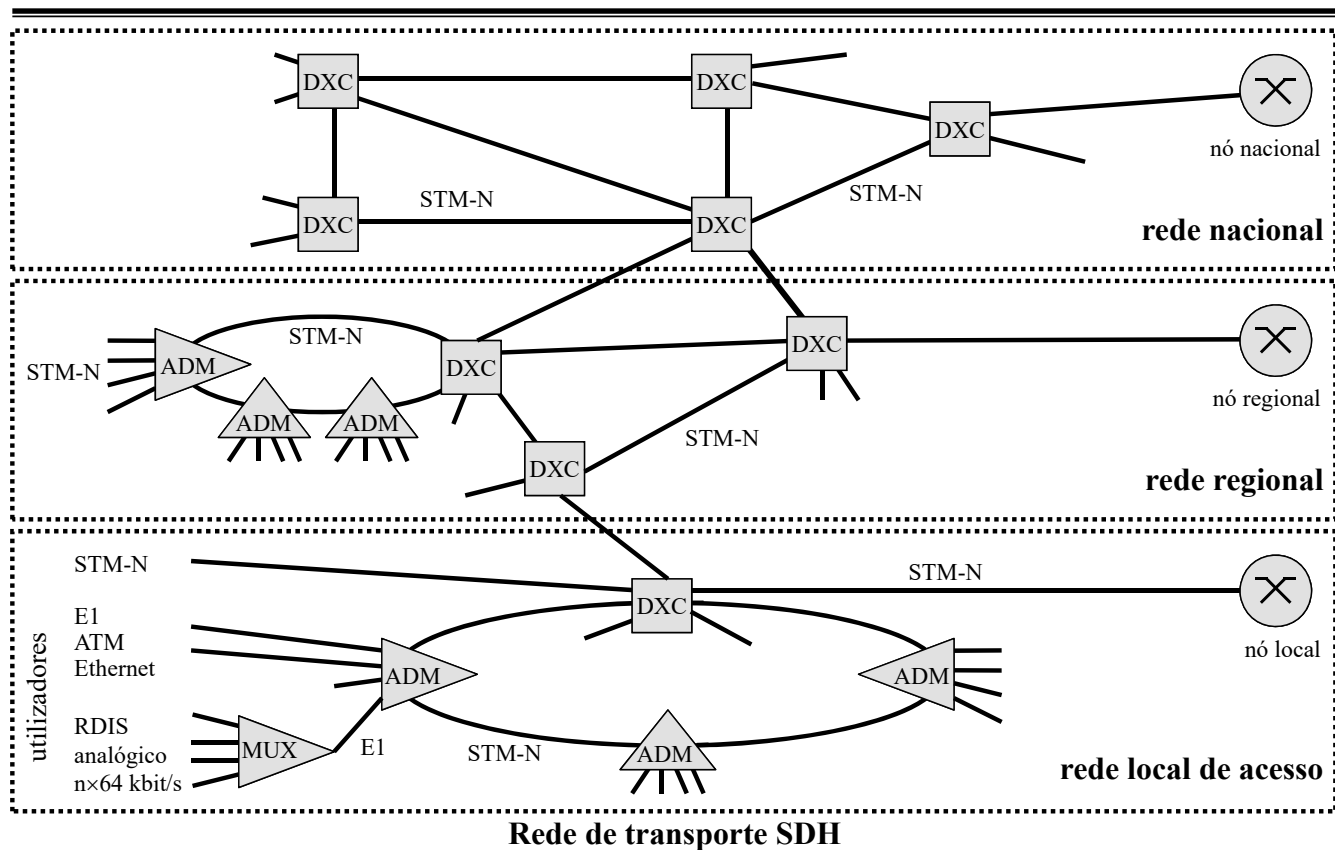
Rede local de acesso

- 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

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital