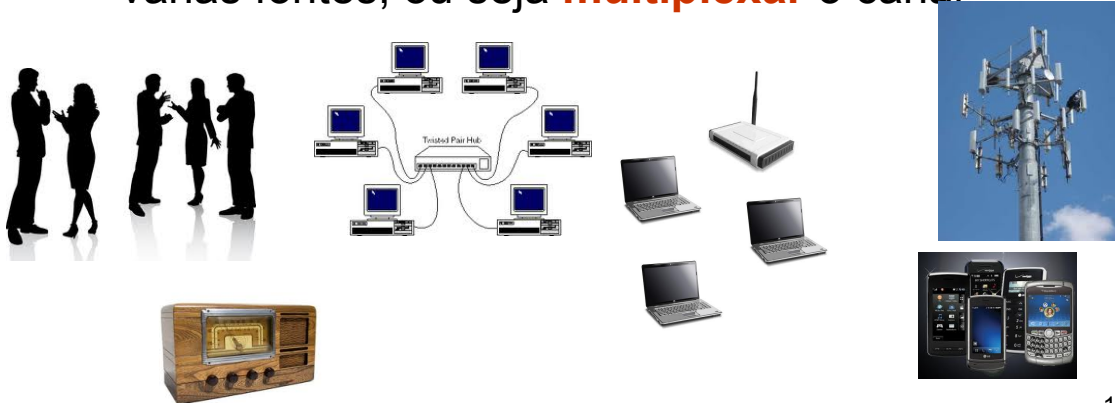




### III. MULTIPLEXAGEM

- Quando um canal possui **uma capacidade muito superior ao débito de uma fonte**, pode utilizar-se o canal para transportar os sinais de várias fontes, ou seja **multiplexar** o canal



1



### III. MULTIPLEXAGEM

- Quando um canal possui **uma capacidade muito superior ao débito de uma fonte**, pode utilizar-se o canal para transportar os sinais de várias fontes, ou seja **multiplexar** o canal
- Como?** Várias técnicas, neste capítulo são referidas duas das principais:
  - multiplexagem **por divisão de tempo (TDM)**
  - multiplexagem **por divisão de frequência (FDM)**
  - soluções híbridas (e.g. TDM + FDM)
  - ... e outras técnicas

2



### III. MULTIPLEXAGEM

#### **FDM** (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

- Técnica em que cada fonte ocupa uma **fracção da largura de banda** disponível durante todo o tempo
- Método mais antigo
- Método que surgiu inicialmente associado à transmissão analógica
- Exemplo:
  - transmissão e sintonização de estações de rádio; espaço livre constitui o meio comum de transmissão que é multiplexado em frequência



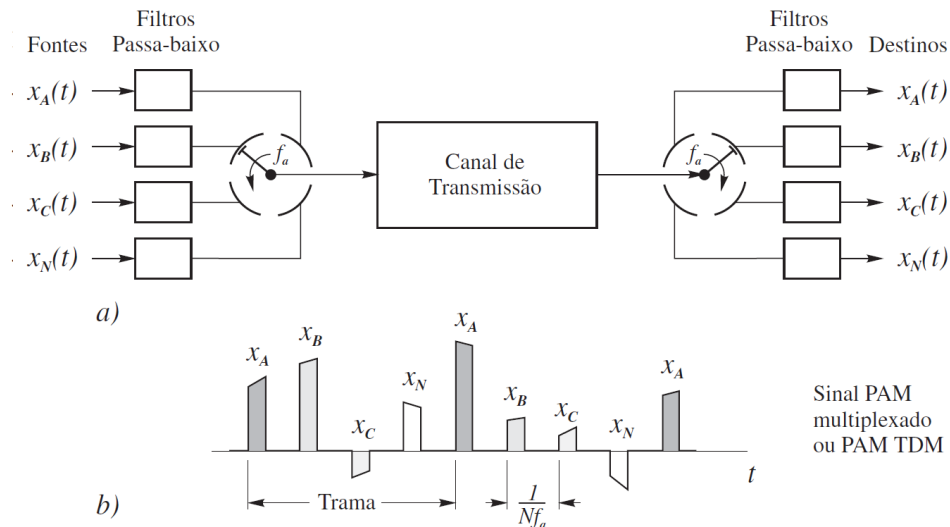
### III. MULTIPLEXAGEM

#### **TDM** (*Multiplexagem por Divisão de Tempo*)

- Cada fonte ocupa **toda a largura de banda** disponível durante **parte do tempo**
- Ganhou relevância com a crescente **digitalização** das comunicações (porquê?)
- Mais apropriado para transmissões digitais
- Diferentes tipos de TDM
  - com diferentes características e aplicações
  - a ver mais tarde....

### III. MULTIPLEXAGEM

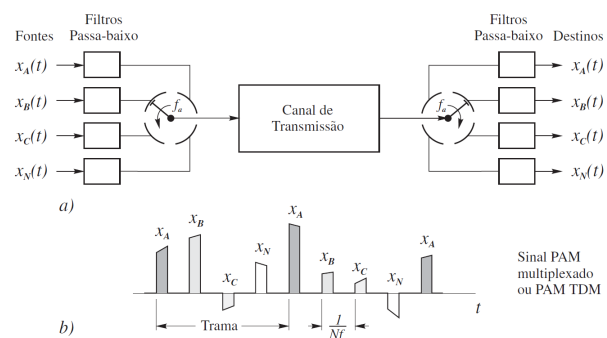
#### *TDM - Exemplo de Multiplexagem por Divisão de Tempo*



5

### III. MULTIPLEXAGEM

- Se neste exemplo todas as fontes produzirem sinais com a mesma largura de banda ( $B$ ) comutador deverá rodar a ao ritmo  $f_a \geq 2B$



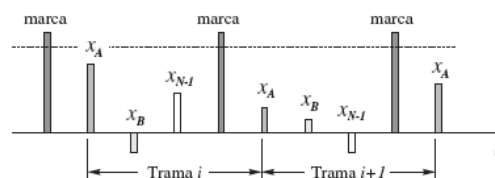
- Neste exemplo uma **trama** será um conjunto, ordenado no tempo, com uma amostra de cada entrada
- Ritmo de pulsos PAM no canal será de  $r_c = N \cdot f_a \geq N \cdot 2 \cdot B$
- [se fosse considerado o processo digitalização completo] no canal estariam os **bits** representativos de cada uma das amostras

6

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM

- **Noção de sincronização**
  - No exemplo anterior, corresponde à necessidade de cada amostra ser entregue ao destino correcto no instante devido
  - **Necessidade da existência de marcas** entre cada grupo de amostras ou tramas
  - No contexto do exemplo anterior:



7

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM

- **Noção de Canal Virtual (ou lógico)**
  - O canal de transmissão é visto como a agregação de vários canais virtuais
  - cada canal virtual é um par emissor-receptor
  - No contexto do exemplo anterior:



8



## III. MULTIPLEXAGEM

### TDM

Nos exemplos referidos anteriormente:

- os símbolos são contíguos no tempo; ocorrem sem interrupção; se fonte deixa de transmitir os intervalos de tempo que lhe estão atribuídos tem de decorrer porque ....

#### 1. TDM Síncrono

- Assume a **ordenação temporal e continuidade dos canais**
- Exemplos: Sistemas de multiplexagem PCM, Hierarquias de multiplexagem PDH e outras ....



## III. MULTIPLEXAGEM

### TDM

#### 2. TDM Assíncrono

- Quando não se exige ordenação nem continuidade
- Em muitos cenários melhor desempenho devido ao **aproveitamento do tempo desperdiçado por alguns canais**
- Multiplexadores estatísticos seguem esta filosofia
- Processo também designado por **multiplexagem estatística**



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM SÍNCRONO

primeiros sistemas de multiplexagem - vamos ver alguns dos seus fundamentos

- **Sistemas de Multiplexagem PCM**

Primeira forma de TDM apareceu com a **digitalização** PCM do sistema telefónico com a preocupação de transmissão de voz

- **Outras estruturas de multiplexagem SDH, SONET**

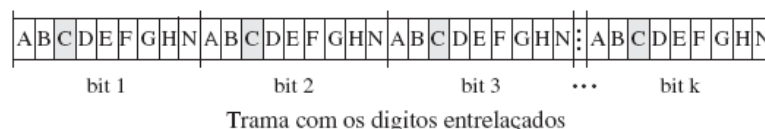
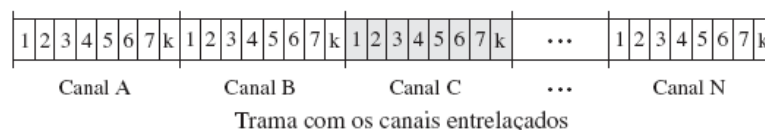
Sistemas de multiplexagem melhor adaptados à transmissão de sinais de informação multimédia modernos, contemplar tecnologia óptica, visam obtenção de débitos mais elevados, permitir melhor operação e manutenção dos sistemas de multiplexagem



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

- **Organização das tramas** que multiplexam diversos canais binários após digitalização das fontes
- Trama multiplexa **N canais básicos** de K bits
- trama organizada em: **canais entrelaçados** ou **dígitos entrelaçados**





### III. MULTIPLEXAGEM

#### Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

##### ALINHAMENTO DAS TRAMAS

- Necessidade de detecção do início da trama - **alinhamento da trama**
- Utilização de um **determinado padrão de vários bits** transportados pela trama
- Quando o receptor perde o alinhamento de trama:
  - **procura esse padrão** de bits de modo a **realinhar** num curto intervalo de tempo
  - diz-se que o receptor está em *modo caça*



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

##### ALINHAMENTO DAS TRAMAS

- **PADRÃO AGRUPADO**  
Os bits de alinhamento formam um conjunto consecutivo no início da trama.
- **PADRÃO DISTRIBUÍDO**  
Os bits de alinhamento são espalhados pela trama e ao longo de várias tramas.  
  
>> **Histerese** a reacção do desmultiplexador a uma perda do alinhamento deve ser retardada, i.e. ser feita ao longo de um intervalo temporal suficiente para não se confundir com erros de transmissão.



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

##### SINALIZAÇÃO

- Consiste na transmissão de **informação auxiliar** entre os equipamentos de multiplexagem para efeitos de controlo ou informação auxiliar dos próprios canais
- Informação de sinalização possui semântica própria (comandos, confirmações etc.) (ao contrário da informação transportada entre as fontes e destinos que é transferida de forma transparente)



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

##### SINALIZAÇÃO - exemplos

- **IN-BAND**  
Dentro do Octeto – bit menos significativo do octeto é usado (a cada X octetos) para sinalização; utilização problemática para a transmissão de dados no canal
- **OUT-BAND**  
Fora do Octeto – a cada canal de informação estão atribuídos um ou mais dígitos de sinalização, num canal separado, mediante regras de atribuição pré-estabelecidas
- **CANAL COMUM**  
Reservado um canal por trama para sinalização o qual é atribuído ocasionalmente de acordo com as necessidades a um ou outro canal (uso de etiquetas para identificação do canal a que dizem respeito).



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Sistemas de Multiplexagem PCM

- Necessidade de uniformizar os diversos parâmetros (ritmo, canais, sinalização, etc...) levou à **normalização da multiplexagem PCM**
- Normas Americanas e Europeias especificadas em recomendações da ITU (International Telecommunications Union)
  - » Trama PCM primária de 2 Mbps (sistema Europeu)
  - » Trama PCM primária de 1.5 Mbps (sistema Americano)
  - » Hierarquias de Multiplexagem ....

17

### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo - Trama PCM Primária de 2 Mbps

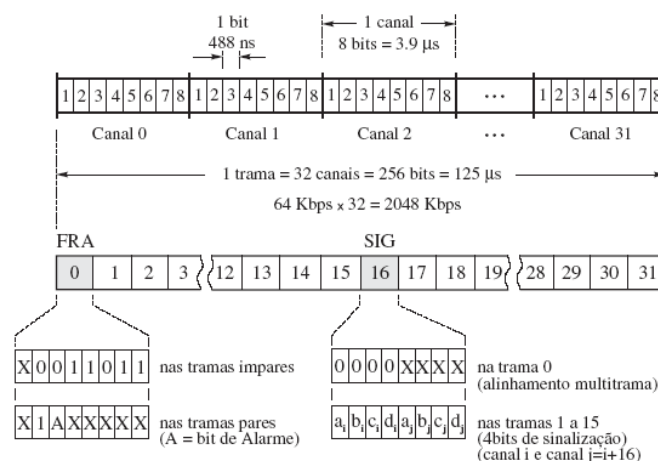


Figura 6.6: Estrutura da trama de multiplexagem PCM de 2 Mbps

18

### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo - Trama PCM Primária de 1.5 Mbps

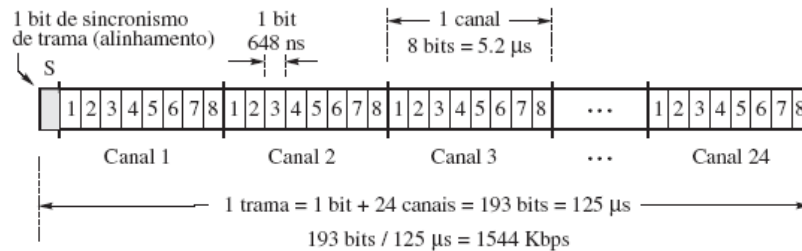


Figura 6.9: Estrutura da trama de multiplexagem PCM de 1.5 Mbps

### III. MULTIPLEXAGEM

#### Hierarquia de Multiplexagem PDH

- Para multiplexar um maior número de canais básicos do que aquele que o sistema primário admite recorre-se à **hierarquização de multiplexadores** (cascata de multiplexadores)
- As saídas dos multiplexadores de primeira ordem são multiplexadas em multiplexadores de segunda ordem, e assim sucessivamente ....
- Estes procedimentos de hierarquias de multiplexagem são normalizados, e.g. hierarquia PDH

### III. MULTIPLEXAGEM

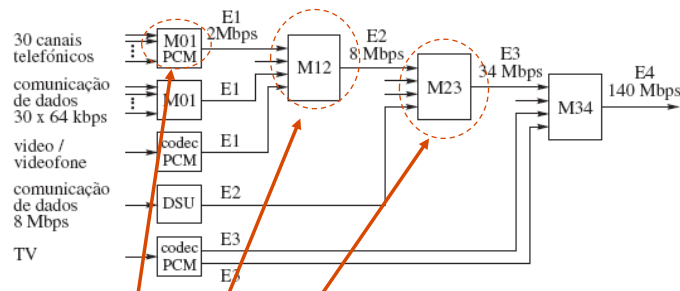


Figura 6.11: Exemplo de uma multiplexagem PDH Europeia

Tabela 6.1: Hierarquias de Multiplexagem PDH

Ordem	Sistema Europeu ITU-T G.732			Sistema Americano ITU-T G.733		
	Entradas	Ritmo de saída (Kbps)		Entradas	Ritmo de saída (Kbps)	
1	30	2 048	E1	24	1 544	T1
2	4	8 448	E2	4	6 312	T2
3	4	34 368	E3	7	44 736	T3
4	4	139 264	E4	6	274 176	T4
5	4	564 992	E5			

21

### III. MULTIPLEXAGEM

#### Outras Hierarquias de Multiplexagem - SDH, SONET

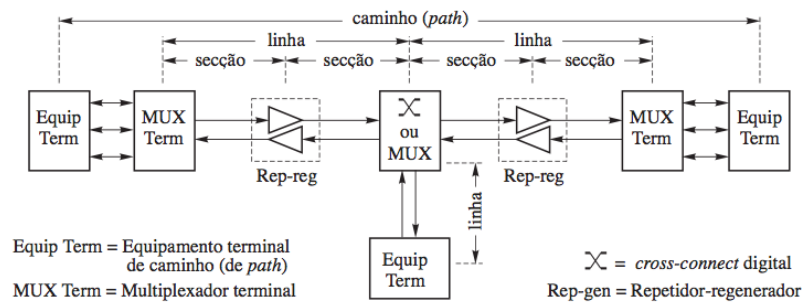
- Motivadas pela necessidade de repensar e melhorar as normalizações TDM anteriores
- Motivadas pela evolução e crescente disponibilidade da tecnologia óptica
- Objectivo da continuação da hierarquia até e para além do gigabit por segundo (Gbps)
- Necessidade de enriquecer a estrutura de sinalização para melhorar serviços de administração



### III. MULTIPLEXAGEM

#### SDH, SONET

- Sistema SDH/SONET constituído por multiplexadores, repetidores/regeneradores, comutadores...



- e.g. Fibra óptica ininterrupta que interliga quaisquer dos dispositivos designada por **seccção**; trajecto entre dois mux. (com ou sem repetidores) designado por **linha**; trajecto entre equipamentos terminais designado por **caminho/path**

23



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo de Trama Básica SONET

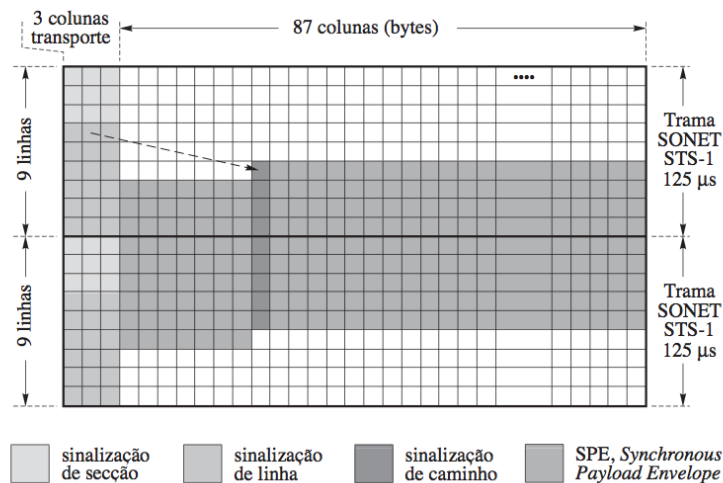
- Tramas constituídas por blocos de 810 bytes
- Duração 125 microseg. (coincide com o período de amostragem PCM)...
- 8000 tramas por segundo
- Tramas podem vistas como uma matriz de bytes (90 colunas, 9 linhas)
- $90 * 9 = 810 \text{ bytes} * 8000 = 51.84 \text{ Mbps}$  ritmo do **canal básico SONET** cuja **trama** é designada por **STS-1**
- Todos os restantes ritmos SONET são múltiplos do STS-1

24



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo de Trama Básica SONET (STS-1)



25



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Hierarquias de Multiplexagem SDH/SONET

- SONET: Sinal *STS-i* transmitido sob forma óptica designado por *OC-i*; SDH: Só aplicado ao contexto de sinais ópticos

Tabela 6.2: Hierarquias de Multiplexagem SDH e SONET

SONET		SDH	Ritmo binário (Mbps)		
Eléctrico	Óptico		Bruto	SPE	Útil
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728

etc.....      etc.....

Nota:

- só alguns dos níveis identificados na tabela é que são mais frequentemente usados
- existem mais níveis, exemplo: OC-768 com débito de aprox. 40 Gbps

26

### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo de um cenário de multiplexagem SDH

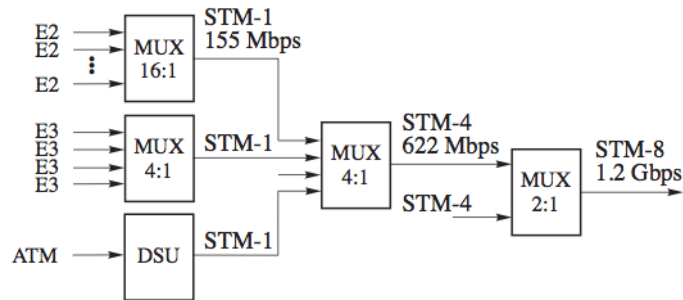


Figura 6.17: Multiplexagem hierárquica SDH

27

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO

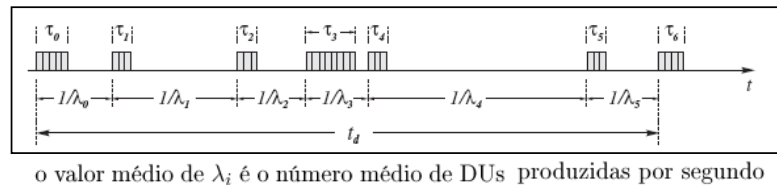
- Multiplexagem síncrona mais apropriada para transmissão digitalizada de fontes que produzem informação a um **ritmo constante**, sem interrupções
- Existem cenários em que tal não é usual
- Tráfego produzido pelas aplicações computacionais é muitas vezes de **natureza aleatória**
- Outros tipos de multiplexagem mais apropriadas?

28

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO

- Exemplo de tráfego de natureza aleatória

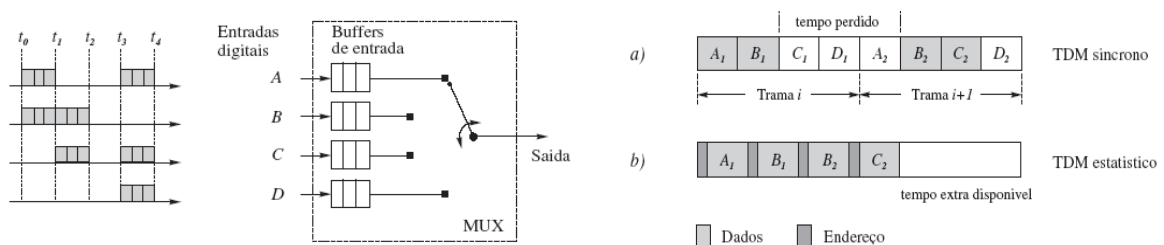


- Será pois mais vantajoso, nestes casos, a **alocação dinâmica** de ranhuras temporais dependendo se as fontes tem ou não tráfego para enviar

29

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO vs TDM Síncrono



- **TDM estatístico** - nem todos os equipamentos estão a transmitir ao mesmo tempo -> **ritmo de saída pode ser inferior à soma dos ritmos das entradas**

30



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO

- Situações de pico de tráfego?
  - tráfego de entrada excede capacidade de saída logo necessidade de *buffers* (**filas de espera**)
  - filas grandes = **atrasos** grandes e filas pequenas = **perdas** (*consequências para diferentes tipos de tráfego?*)
  - ritmo de saída importante para o desempenho do sistema
  - necessidade de estudar comportamento do TDM estatístico com modelos matemáticos
  - **modelos de filas de espera**

31



### III. MULTIPLEXAGEM

#### MODELAÇÃO DE TRÁFEGO

- Modelo de Filas de Espera é identificado pela notação (simplificada) **A/B/m**
  - **A** - distribuição dos tempos entre chegadas
  - **B** - distribuição dos tempos de serviço
  - **m** - número de servidores
- Vamos usar o exemplo **modelo M/D/1** para estudar os multiplexadores estatísticos
  - intervalos entre chegadas seguem uma exponencial negativa ...
  - tempos de serviço determinísticos (fixos) ...
  - 1 servidor ...
  - ... problemas em assumir este modelo? ....

Considerando um determinado tamanho (K) para a fila de espera é usual a usar sintaxe A/B/m/K, pode ser ainda referida a população e a disciplina da fila (por defeito FIFO)

32

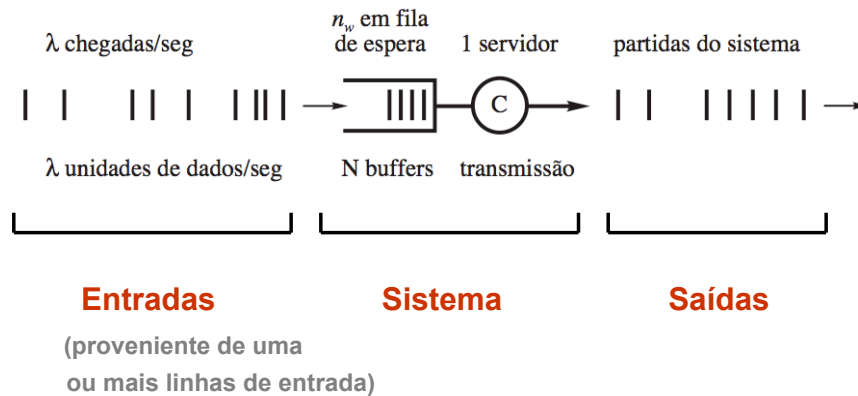




### III. MULTIPLEXAGEM

#### MODELAÇÃO DE TRÁFEGO EM MULTIPLEXADORES ESTATÍSTICOS

##### *Modelação por Filas de Espera*



33



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Ritmo Médio de Chegadas,  $\lambda$**   
Numero médio de mensagens/tramas/pacotes que chegam ao multiplexador por segundo
- Um multiplexador com **N** linhas de entrada; cada uma com um ritmo binário de entrada  **$r_{be}$** ; tamanho das mensagens (ou DUs) **K**; factor de utilização das linhas (i.e. ocupação média entre 0 (0%) e 1 (100%) )  **$\alpha$**  então:

$$\lambda = N \alpha \frac{r_{be}}{k}$$

- Se linhas de entrada com ritmos e  **$\alpha$**  diferentes:

$$\lambda = [ \alpha_1 r_{be1} + \alpha_2 r_{be2} + \dots + \alpha_N r_{beN} ] / K$$

34



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Tempo médio de Serviço,  $\bar{S}$**   
Tamanho das mensagens (ou DUs - Data units),  $K$  bits  
Ritmo de Saída em bps,  $Rbs$

k e rbs expressos em unidades coerentes, ex: bits e bps ou outras

$$\bar{S} = \frac{k}{r_{bs}} \text{ seg por DU}$$

- **Utilização do Servidor,  $\rho$**   
se  $\rho < 1$  então sistema em equilíbrio

$$\rho = \lambda \bar{S}$$

35



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Tempo médio de atraso de uma DU no multiplexador**

$$\bar{t}_q = \bar{S} + \frac{\rho \bar{S}}{2(1 - \rho)}$$

em fila  $\rightarrow \bar{t}_w$

- **Número médio de DUs no multiplexador**

$$\bar{n}_q = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$$

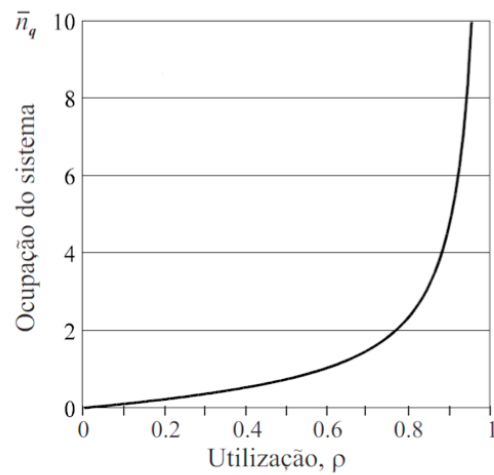
em fila  $\rightarrow \bar{n}_w$

36



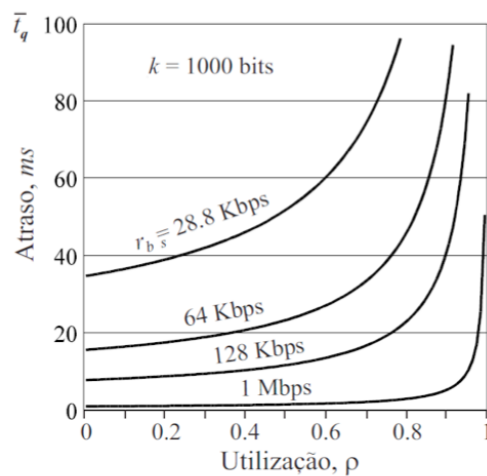
### III. MULTIPLEXAGEM

#### MODELO M/D/1 - Exemplo de Resultados



### III. MULTIPLEXAGEM

#### MODELO M/D/1 - Exemplo de Resultados





### III. MULTIPLEXAGEM

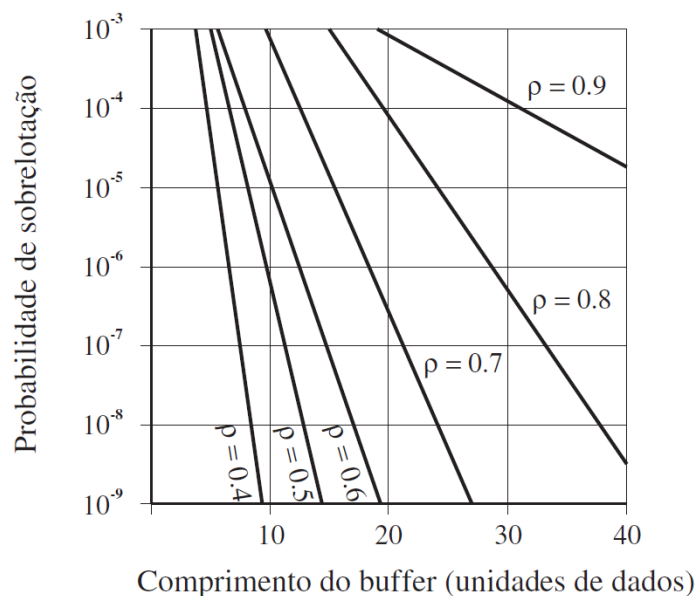
- Com as formulas apresentadas anteriormente é possível obter **valores médios** para a ocupação dos *buffers*
- No entanto durante a operação do multiplexador os valores de ocupação podem exceder bastante a média
- Como obter valores para as probabilidades de sobrelotação para um **determinado tamanho de *buffer***?

39



### III. MULTIPLEXAGEM

#### MODELO M/D/1 - Probabilidade de Sobrelotação



40

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

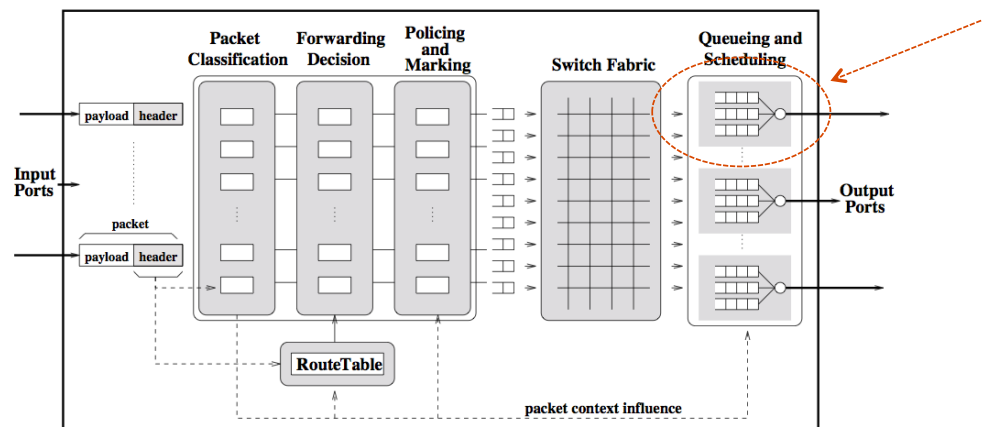
- A base teórica dos modelos de filas de espera é importante para o estudo/implementação de **diversos equipamentos de rede**
- e.g. **Routers** – equipamento de interligação de redes
  - os mecanismos de gestão de **filas de espera** e estratégias **escalonamento de pacotes** são essenciais para o tratamento dos pacotes a transmitir
  - ... afectam a forma/qualidade como o **tráfego** é transmitido na rede

41

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Exemplo (conceptual) de uma arquitetura de um router



42

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

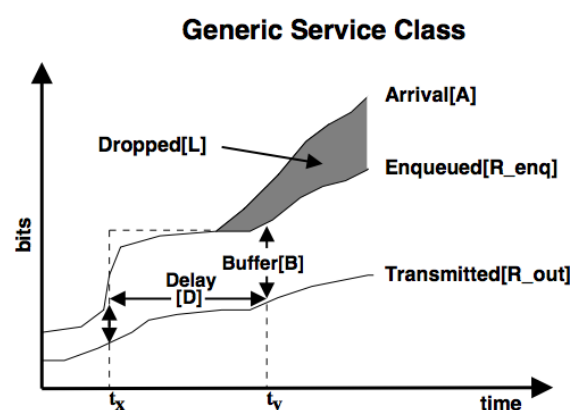
- As diferentes estratégias de escalonamento e gestão de filas afectam as diferentes **classes de tráfego**
  - exemplo: **débitos obtidos, perdas, atrasos, ...**
  - relação direta com a **Qualidade de Serviço (QoS)** obtida pelas aplicações que usam a infra-estrutura de comunicações
  - podem ser usadas inúmeras alternativas de estratégias de escalonamento de tráfego e gestão de filas de espera

43

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- ...exemplo do comportamento de uma determinada *classe de tráfego*

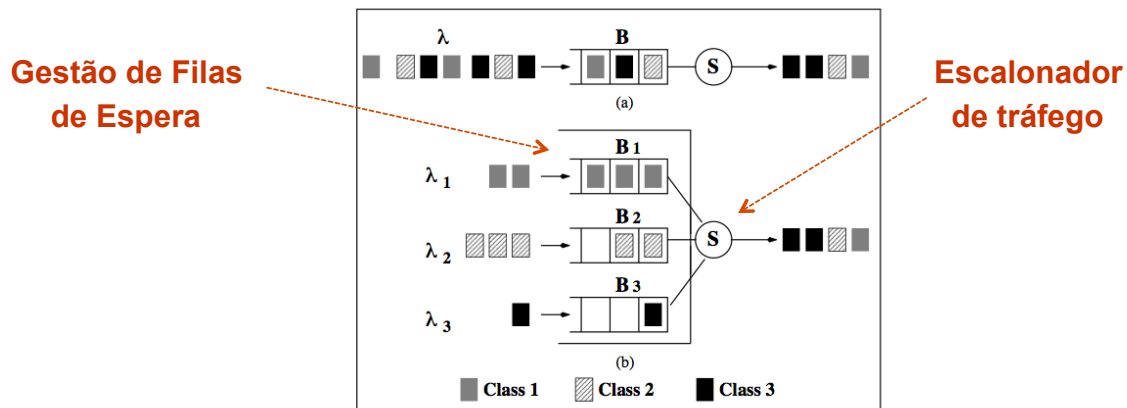


44

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Para conseguir algum tipo de **diferenciação de tráfego** é necessária a utilização de estratégias de filas espera/ escalonamento apropriadas



45

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Exemplos/**gestão das filas de espera (buffers)**
  - todos os pacotes partilham uma **única fila de espera**
  - pacotes de diferentes classes são armazenados em **diferentes filas de espera**
- Gestão do espaço de *buffering* pode assumir características **dinâmicas** ou **estáticas**
- Insuficiência de recursos? *drop tail*, *push-out* ou outros (e.g. com características probabilísticas – *nota: RED vs tráfego TCP*)

46



### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Exemplos de classificações de **estratégias de escalonamento de pacotes**
  - *work conserving*: escalonador só não transmite pacotes no caso das filas estarem vazias
  - *non-work-conserving*: ....
  - *strict priority*: pacotes com prioridades mais altas tem sempre prioridade sobre os outros pacotes... (consequência?)
  - outras categorias: *fair queueing* (bastante comum), *deadline based*, *rate based*
  - etc ... etc ...

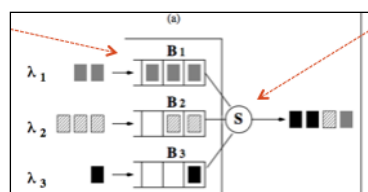
47



### III. MULTIPLEXAGEM

- **Exemplo ilustrativo de diferenciação relativa** de tráfego:
  - Gestão de  $n$  filas dinâmicas + Escalonamento pacotes aplicando **modelos de proporcionalidade** ...
  - Cada classe de tráfego tem associados 2 parâmetros:
    - **parâmetro  $U_i$**  > vai influenciar a forma como os pacotes são selecionados para transmissão (atrasos)
    - **parâmetro  $L_i$**  > vai influenciar as perdas de pacotes

Gestão de filas  
de espera

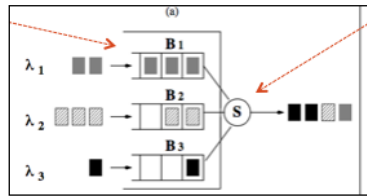


Escalonamento

48



### III. MULTIPLEXAGEM



- **Atraso:** Prioridade da classe<sub>i</sub> ( $P_i$ ) - classe com maior  $P_i$  é seleccionada para transmissão

$$P_i = \text{atraso\_em\_fila\_pacote\_cabeça\_fila}_i * \text{parâmetro } U_i$$

- **Perdas:** em caso de buffer *overflow* é eliminado um pacote da classe com menor  $P_i$

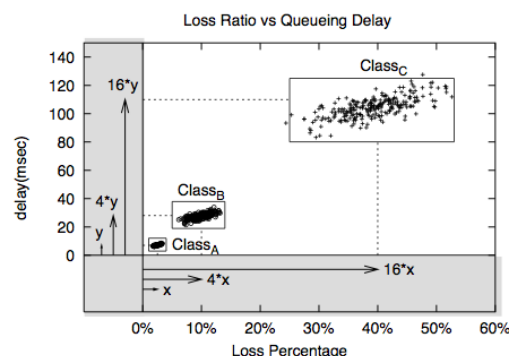
$$P_i = \% \text{perdas\_classe}_i * \text{parâmetro } L_i$$

49

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- **Exemplos ilustrativos** de diferenciação relativa de tráfego (3 classes de tráfego):



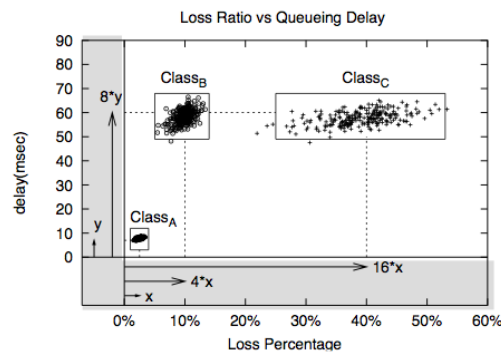
*Proportional loss and proportional delay differentiation models for  $(L_A, L_B, L_C) = (16, 4, 1)$  and  $(U_A, U_B, U_C) = (16, 4, 1)$ .*

50

### III. MULTIPLEXAGEM

#### TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Exemplos ilustrativos de diferenciação relativa de tráfego (3 classes de tráfego):



*Proportional loss and proportional delay differentiation models for  $(L_A, L_B, L_C) = (16, 4, 1)$  and  $(U_A, U_B, U_C) = (8, 1, 1)$ .*

51

### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM (Multiplexagem por Divisão de Frequências)

- Técnica em que cada fonte ocupa uma **fracção da largura de banda** disponível durante todo o tempo
  - Contrariamente ao TDM em que cada fonte ocupa toda a largura de banda disponível durante parte do tempo
- Método mais antigo...
- Método que surgiu inicialmente associado à transmissão analógica

52

### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM (Multiplexagem por Divisão de Frequências)

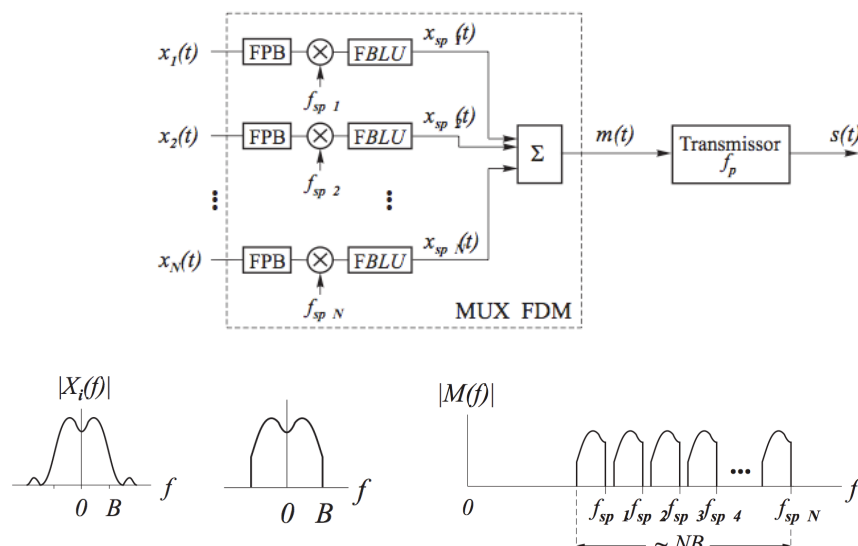
- No mesmo suporte físico coexistem simultaneamente **vários canais FDM**
- Sinais de cada canal são **modulados em portadoras** de diferentes frequências
- Na recepção o sinal composto é apresentado a um conjunto de **N filtros passa banda** que permitem isolar cada uma das suas componentes (canais)
- Em canal canal efectua-se uma **desmodulação** permitindo a recuperação do sinal original desse canal

53

### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM (Multiplexagem por Divisão de Frequências)

... na transmissão:

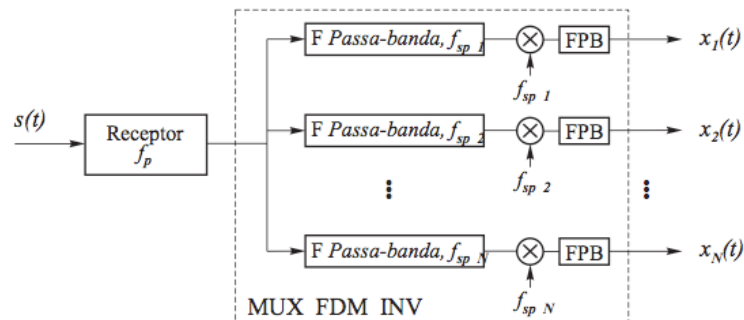


54

### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM (Multiplexagem por Divisão de Frequências)

... na recepção:



55

### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM (Multiplexagem por Divisão de Frequências)

- Tal como no caso do TDM, existem especificações de hierarquias de multiplexagem FDM, exemplo:
  - as que assumem como canal básico de referência o canal de voz (com  $B=4\text{KHz}$ ) ...
  - ... definindo-se depois vários níveis de hierarquias

**Nível 1** – multiplexa 12 canais de 4KHz em sub-portadoras 64, 68, 72, ..., 108 KHz, resultando num sinal composto com largura de banda = 48KHz

**Nível 2** – multiplexa 5 entradas do nível anterior.....

**Nível 3** ....

....

56



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Esquemas combinados FDM/TDM

- Possibilidade da utilização esquemas híbridos envolvendo TDM e FDM

**Exemplo** – comunicação entre uma estação base e diversos dispositivos (utilizadores)

- estação base divide a banda de transmissão disponível do canal em várias **sub-bandas** ...
- .... temporalmente define também “espaços” temporais (**time slots**) que no seu conjunto formam uma trama
- A cada dispositivo é atribuída uma frequência e *um time slot*

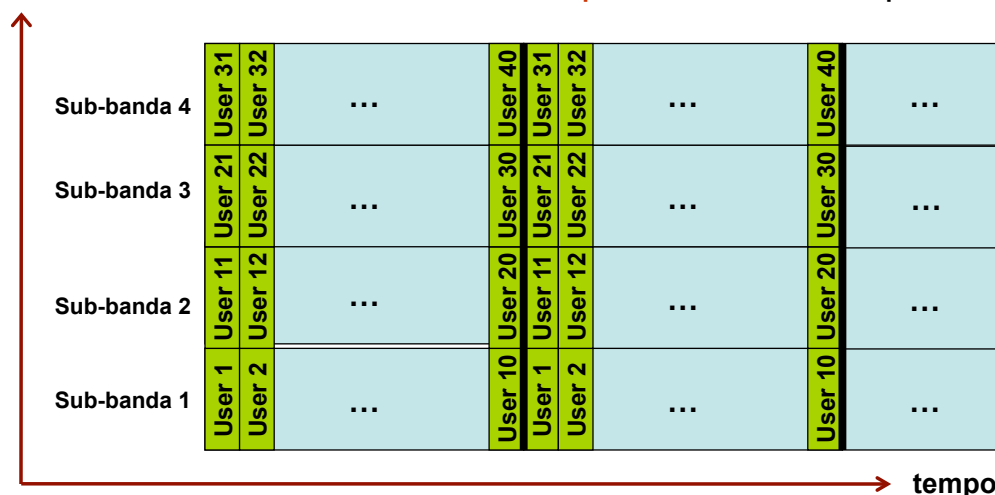
57



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplo - Esquemas combinados FDM/TDM

Esquema resultante da divisão da banda de transmissão em 4 **sub-bandas** e da **divisão temporal** em 10 slots por trama



58



### III. MULTIPLEXAGEM

#### Exemplos de outras Técnicas ... (breve referência)

- Alguns métodos de acesso ao canal são baseados noutros paradigmas que não FDM ou TDM ...
- e.g. uma das versões do método de acesso ao canal denominado por **CDMA (Code division multiple access)**
  - possibilidade do canal ser usado por diversos intervenientes ao mesmo tempo e na mesma gama de frequências... interferência entre as comunicações!! ... mas **de uma forma controlada**
  - cada dispositivo interveniente na comunicação possui um “**código**” que permite codificar (descodificar – na receção) os dados por si enviados

59



### III. MULTIPLEXAGEM

#### FDM ..... TDM ... utilização de CDMA

- Analogia - imaginar uma sala com vários pares/grupos de pessoas a conversarem....
  - **TDM** - por turnos...fala um par de cada vez ...
  - **FDM** - cada par fala em frequências diferentes ...
  - **CDMA** – cada par fala em *linguagens* diferentes (mesmo que ao mesmo tempo e nas mesmas frequências)
    - só intervenientes que falam a mesma linguagem podem comunicar entre si... não conseguem entender os outros intervenientes

60