

Parte II.1: Nível Físico (refs.)

- Principios de comunicação digital
(Tanenbaum 2011, 2.1.(Intro), 2.1.2; Stallings 2.2)
 - Efeitos do meio de transmissão
- Meios de transmissão e modulações
(Tanenbaum 2011, 2.2-2.3, 2.5.1, 2.5.2 ; Stallings 2.1, 2.5)
 - Meios de transmissão guiados
 - Meios de transmissão sem fios
 - Modulações
- Partilha do meio de transmissão: Multiplexagem e comutação
(Tanenbaum 2011, 2.5.3, 2.5.4; Stallings 2.5)

Parte II.1: Nível Físico (Questões)

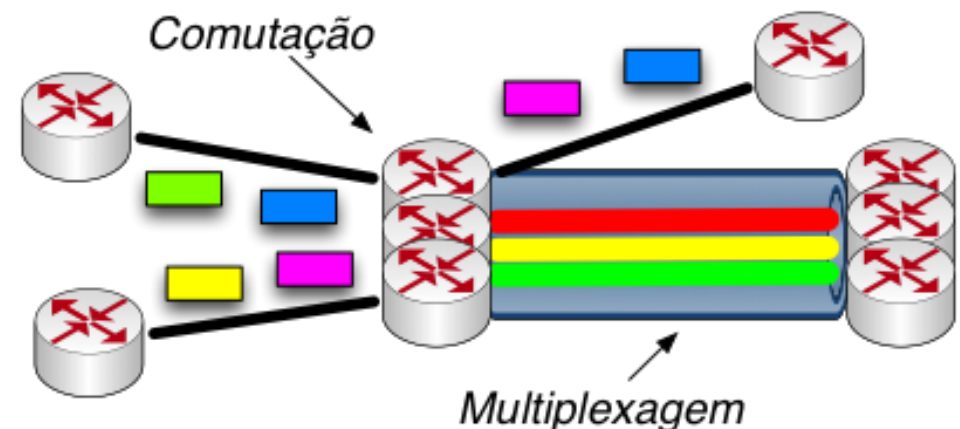
- Ligação direta.

- Como se transportam bits?
(Que tecnologias e recursos se usam?)
- O que limita o ritmo (rapidez) a que se podem transmitir bits?
- O que afecta a sua transmissão?



- Partilha de recursos.

- Como se partilha cada ligação?
(Multiplexagem.)
- Como se partilham os recursos ao longo da rede?
(Comutação.)

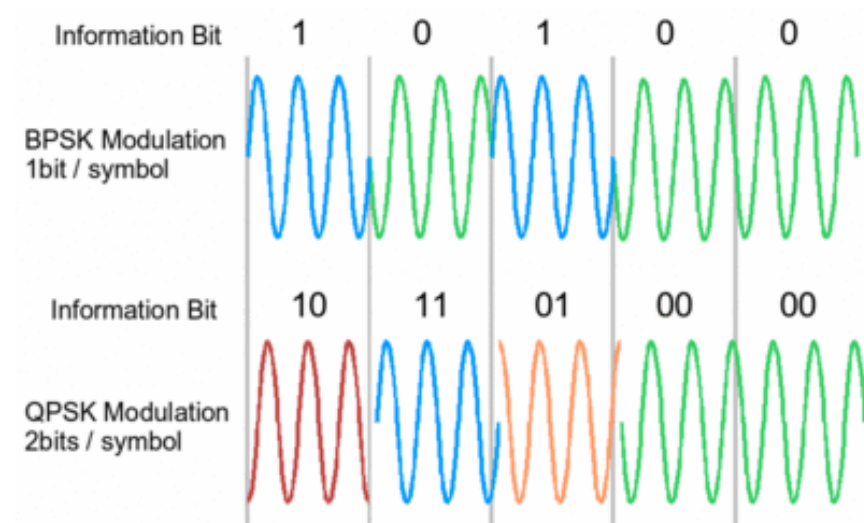


Nível Físico (*Physical Layer*)

- O nível físico lida com o transporte dos bits
 - Geração de sinais adequados ao meio de transmissão
- Lida com os efeitos na transmissão dos sinais
 - Capacidade de um canal (na ausência e presença de ruído)
 - Presença de erros
- Definição do meio de transmissão
 - Exemplos: suporte magnético, par entrançado, cabo coaxial, fibra óptica, sem fios (rádio, micro-ondas, infra-vermelhos)
- Partilha do meio de transmissão
 - Multiplexagem: na frequência e no tempo
 - Comutação: de circuito, de mensagens e de pacotes

Nível Físico (*Physical Layer*)

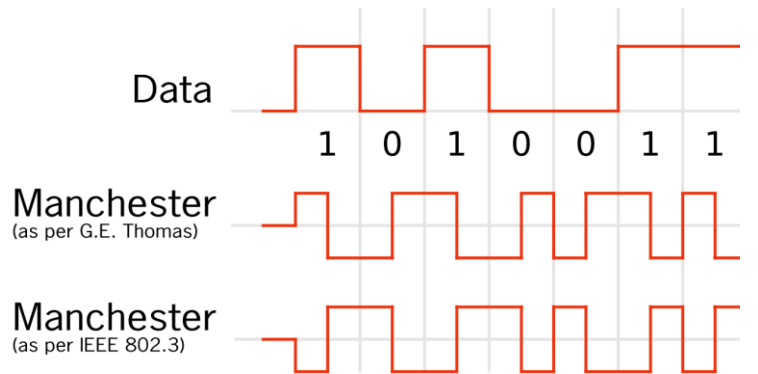
- Como se transportam bits?



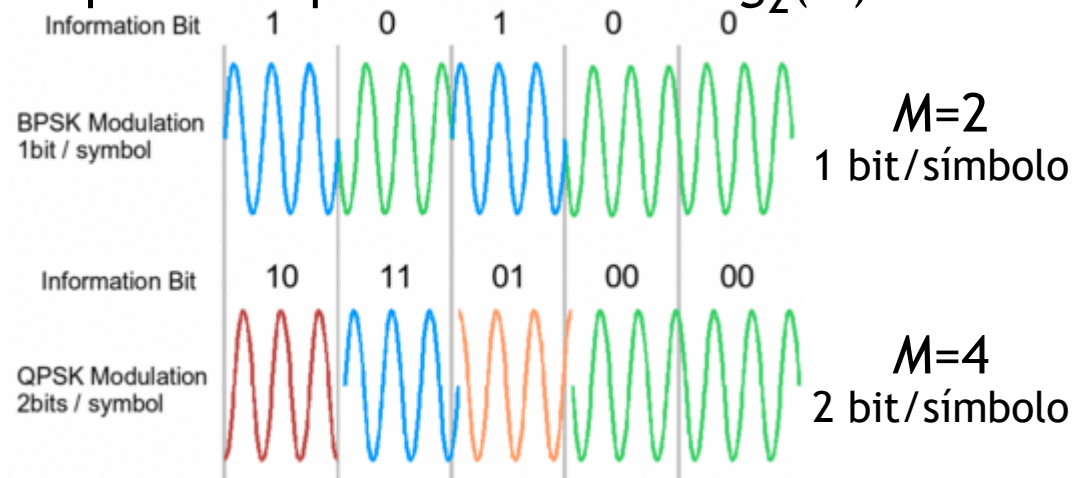
Transporte de bits: transmissão de sinais

- As entidades de nível físico implementam a funcionalidade de **transporte de bits** entre elas através da **transmissão de sinais (símbolos)** sobre meios de transmissão.

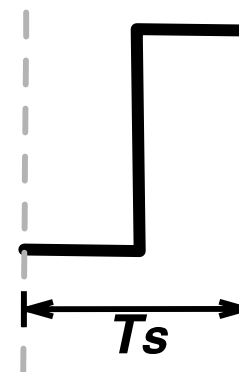
Transmissão de 1 entre M símbolos possíveis para o envio de $\log_2(M)$ bits.



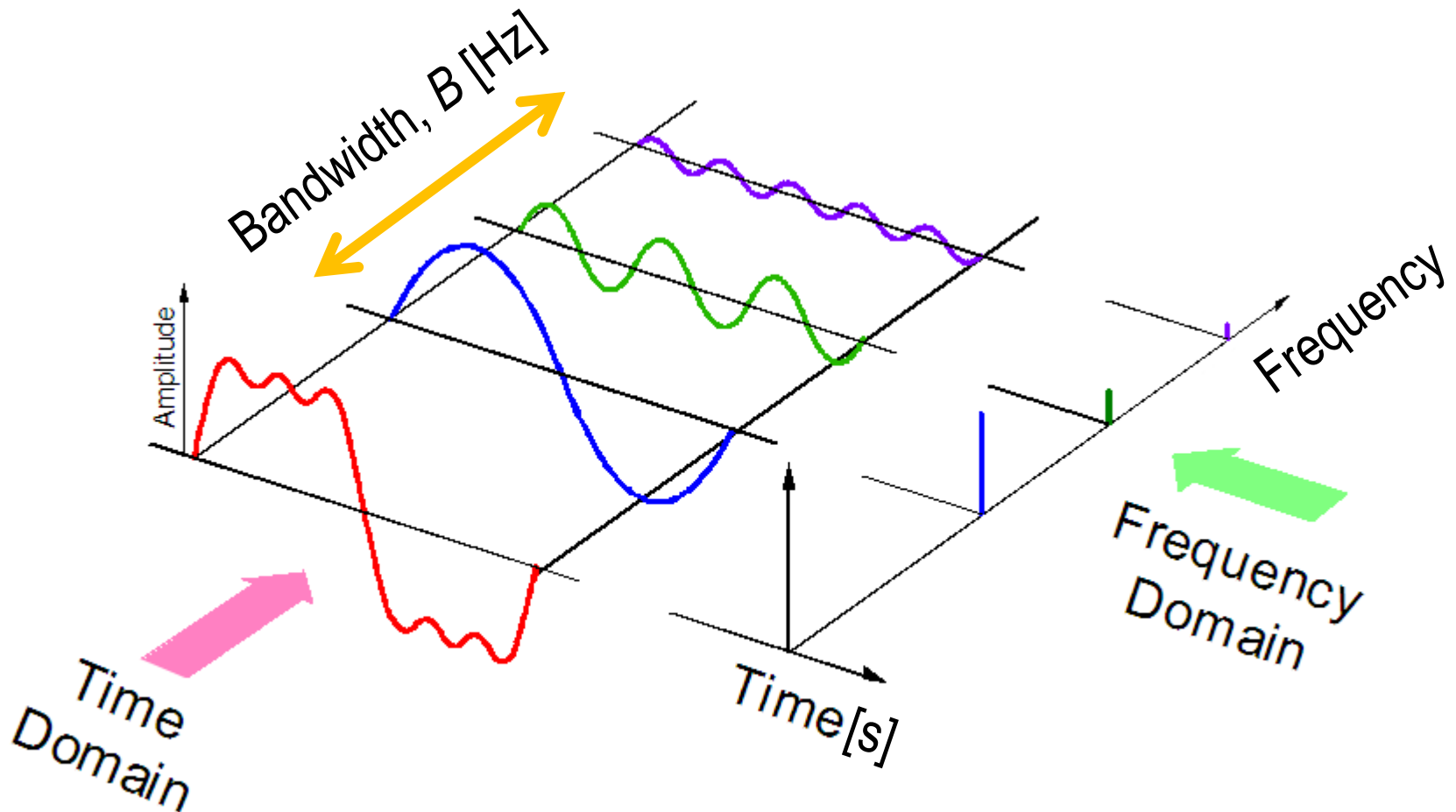
Taxa de codificação: $m = \log_2(M)$
($M=2 \Rightarrow m = 1$ bit/símbolo)



- Características/grandezas dos símbolos
 - T_s - Tempo (duração) de símbolo
 - R_s - Ritmo de símbolo, $R_s = 1/T_s$ [baud]
 - R_b - Ritmo binário, $R_b = R_s \cdot \log_2(M)$ [bps]

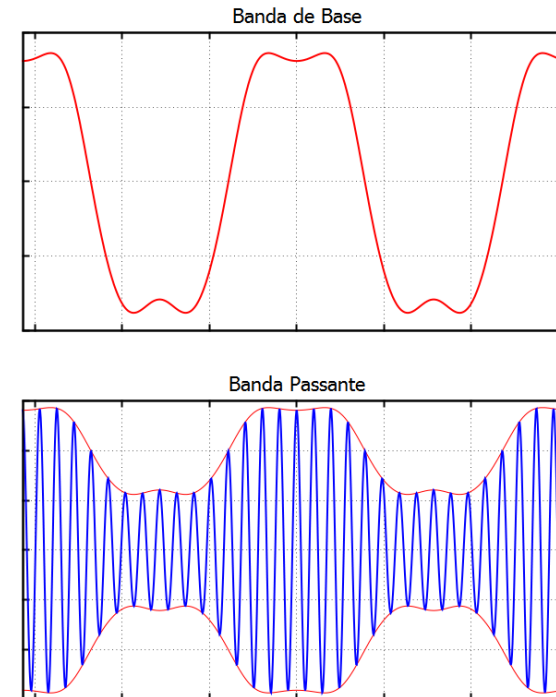
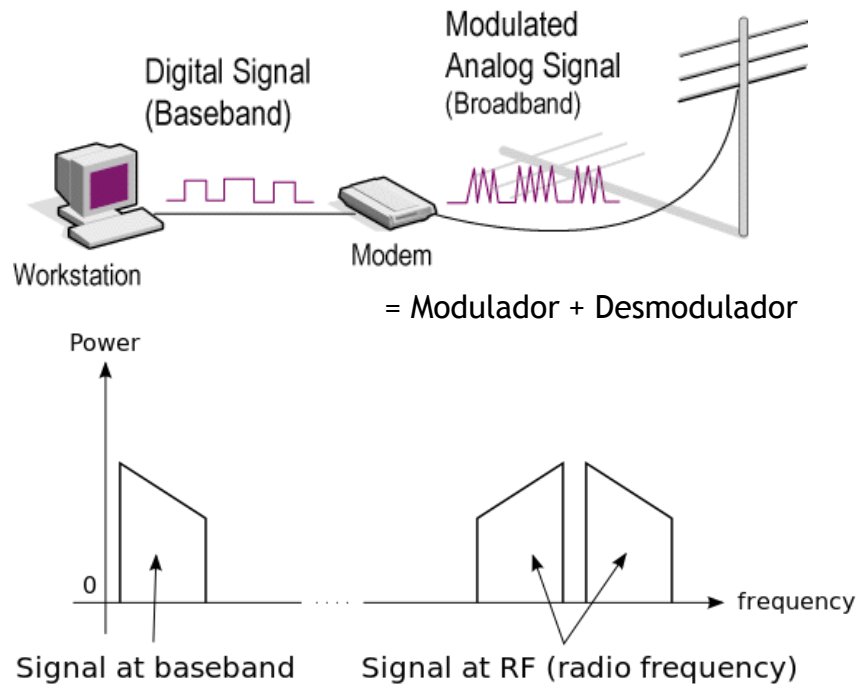


Largura de banda



- Tipicamente existe uma relação de proporcionalidade entre a largura de banda ocupada por um sinal, B , e o seu ritmo de símbolo (R_s).

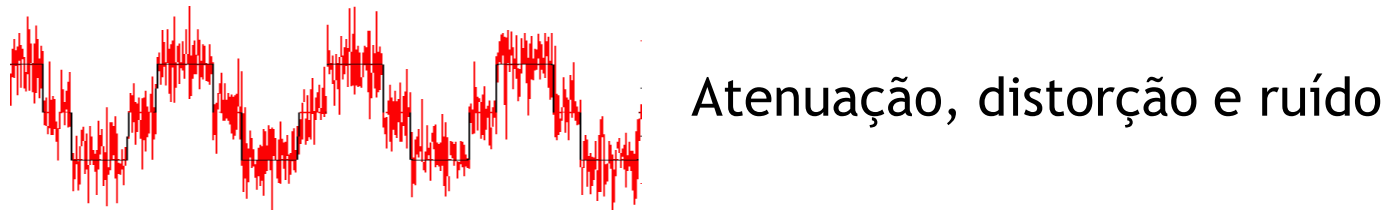
Banda de Base vs. Banda Passante



- Os sinais a serem transmitidos têm de ser adequados ao meio de transmissão.
- Em alguns casos essa adequação implica a utilização de uma frequência portadora (**modulação**).

Nível Físico (*Physical Layer*)

- Que efeitos e limitações há na transmissão de bits?



"Transmitido"	0	1	1	0	1	0	
Erros	✓	✓	✗	✗	✓	✗	Erro de bit
"Recebido"	0	1	0	1	1	1	

Efeitos durante a transmissão

Tempo de Propagação / Tempo de Transmissão

- Tempo de propagação (*propagation delay*):

$$T_p = d / v_p$$

d - distância [m]

v_p - velocidade de propagação [m/s]

- Tempo de transmissão (*transmission delay*):

$$T_{tx} = L / R_b$$

L - comprimento (tamanho) da mensagem [bit]

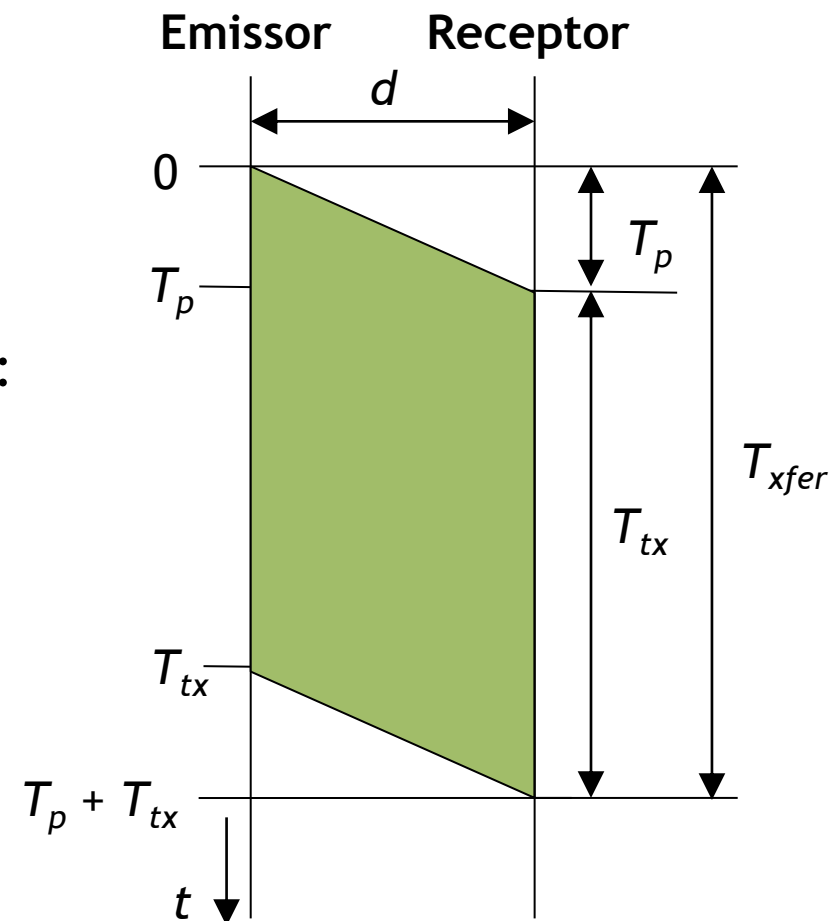
R_b - ritmo binário [bit/s]

- Tempo de transferência (*transfer delay*):

$$T_{xfer} = T_p + T_{tx}$$

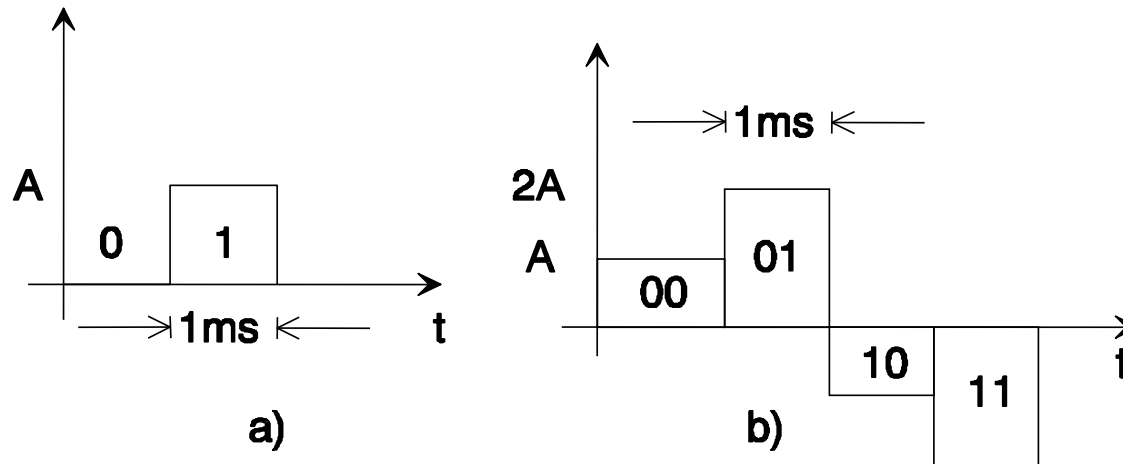
Tempo que toda a mensagem demora a chegar ao destino (*)

(* falta considerar outros efeitos, e.g., processamento e filas)



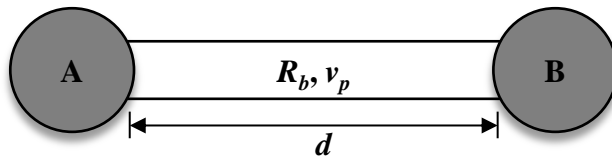
Exemplo transmissão de bits

- Exemplo (Série de Problemas nº 2 - Prob. I):



Qual o ritmo de símbolos, R_s ?
Qual a sua taxa de codificação, m ?
Qual o ritmo binário, R_b ?
Qual a duração de bit, T_b ?

- Exemplo (Série de Problemas nº 2 - Prob. II):

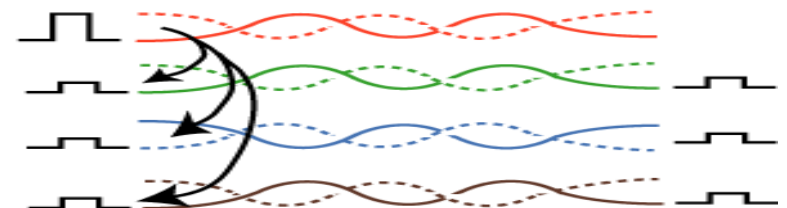
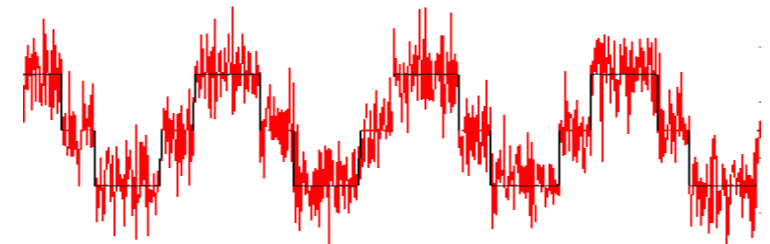
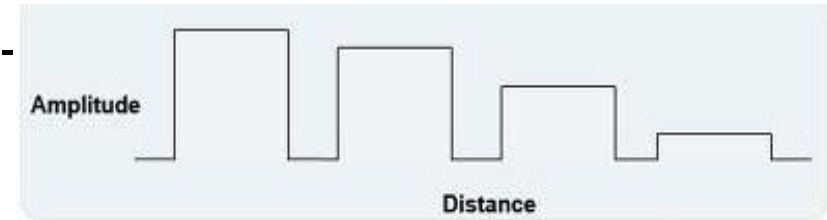


Qual o tempo de transmissão, T_{tx} ?
Qual o tempo de propagação, T_p ?
Qual o tempo de transferência, T_{xfer} ?
Qual o tempo de ida e volta, T_{rtt} ?

$R_b = 100 \text{ Mbit/s}$
 $v_p = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$
 $d = 1000 \text{ km}$
 $L = 125 \text{ bytes}$

Efeitos que um sinal sofre durante a sua transmissão

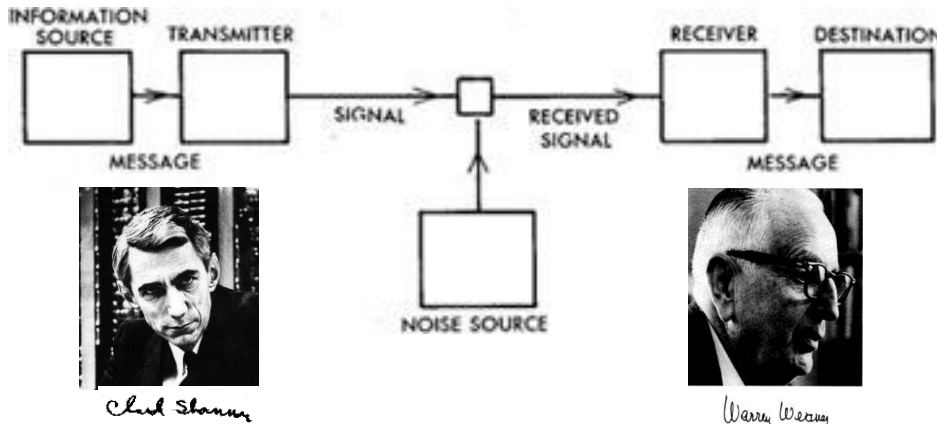
- **Atenuação:** um sinal perde energia ao propagar-se (dB/km). A forma do sinal não se altera. O canal de transmissão é *não distorcivo*.
- **Distorção:** nem todas as frequências sofrem a mesma atenuação nem viajam à mesma velocidade. A forma do sinal altera-se. O canal de transmissão é *distorcivo*.
- **Ruído:** interferência de outras fontes de energia no sinal
- **Diafonia (*crosstalk*):** interferência de outros condutores próximos



Existem meios de minorar estes efeitos não desejados !

Efeito “final”: Erro de bit

- Modelo de um sistema de comunicação Shannon-Weaver



O sinal recebido é resultado do sinal transmitido e das perturbações (ruído) sofrido durante a sua transmissão.

- Padrão de erros, E , representação de erros usando “0” e “1”

“Transmitido”	0	1	1	0	1	0	“Transmitido”: T	0	1	1	0	1	0
Erros	✓	✓	✗	✗	✓	✗	Padrão Erros: E	0	0	1	1	0	1
“Recebido”	0	1	0	1	1	1	“Recebido”: R	0	1	0	1	1	1

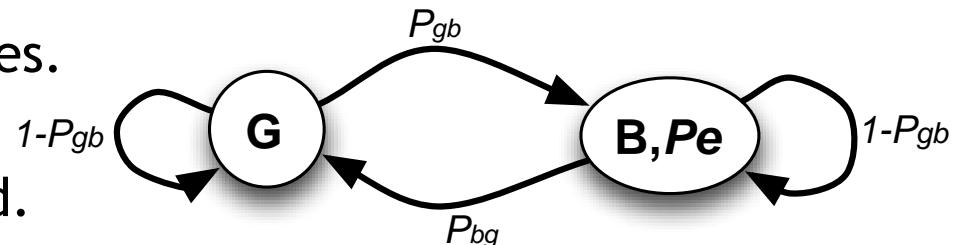
Facilita a representação matemática do fenómeno: $R = T \otimes E$ (XOR bit a bit)

- **Erros independentes:** a probabilidade de um bit, i , sofrer erros não depende do estado (erro/não erro) dos bits anteriores, $i-j$.

$$P(e_i = 0|e_{i-j} = 0) = P(e_i = 0|e_{i-j} = 1) = 1 - P_{eb}$$

```
00001011100000000000001100001000000000010000000000000000100100000000000000100000000000000
00001100000000000000110000110000000000000000000000000000000010000000100000110000000100001000001
0000000010000100000000000100000
```

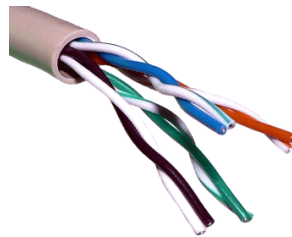
- Modelo de Gilbert-Elliott, canal pode encontrar-se em dois estados: Good/Bad.

[illegible]

13

Nível Físico (*Physical Layer*)

- Que recursos usados para a transferência de bits?

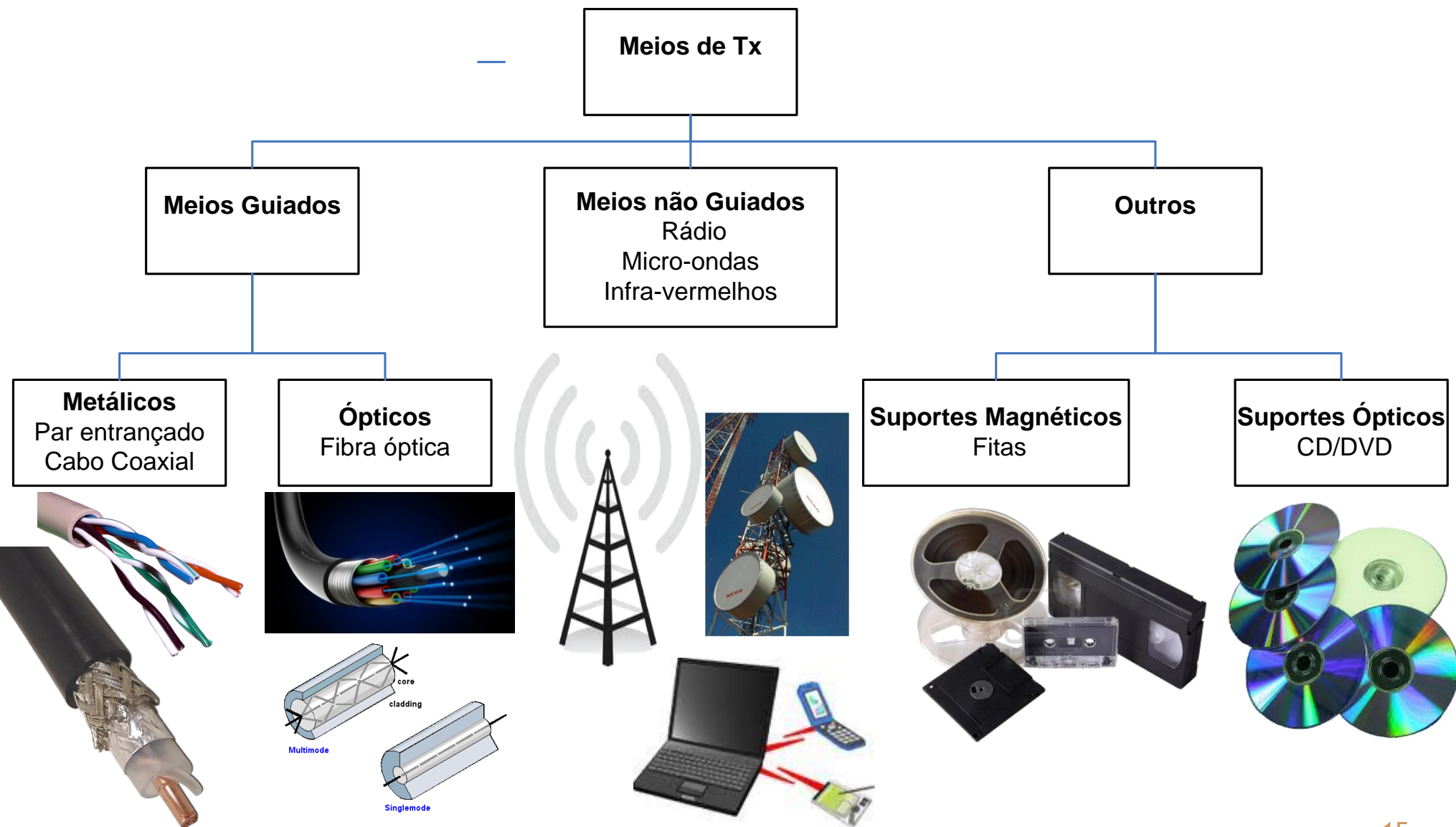


Meios de transmissão

Equipamentos de transmissão



Meios de Transmissão



Meios de Transmissão

	Gama de frequências	Atenuação	Atraso	BER
Par Entrançado (Cat.6)	0 (1) - 250 MHz	0,2 dB/Km (a 1kHz)	0.55 μ s /100m	10^{-12} (802.3an)
Multi-par	0 - 1 MHz	3 dB/Km (a 1 kHz)	5 μ s/km	10^{-9} (HDSL)
Cabo Coaxial	0 - 500 MHz	7 dB/Km (a 10 MHz)	4 μ s/km	10^{-8}
Fibra Óptica	180 - 370 THz	0,2 - 0,5 dB/Km	5 μ s/km	10^{-12}

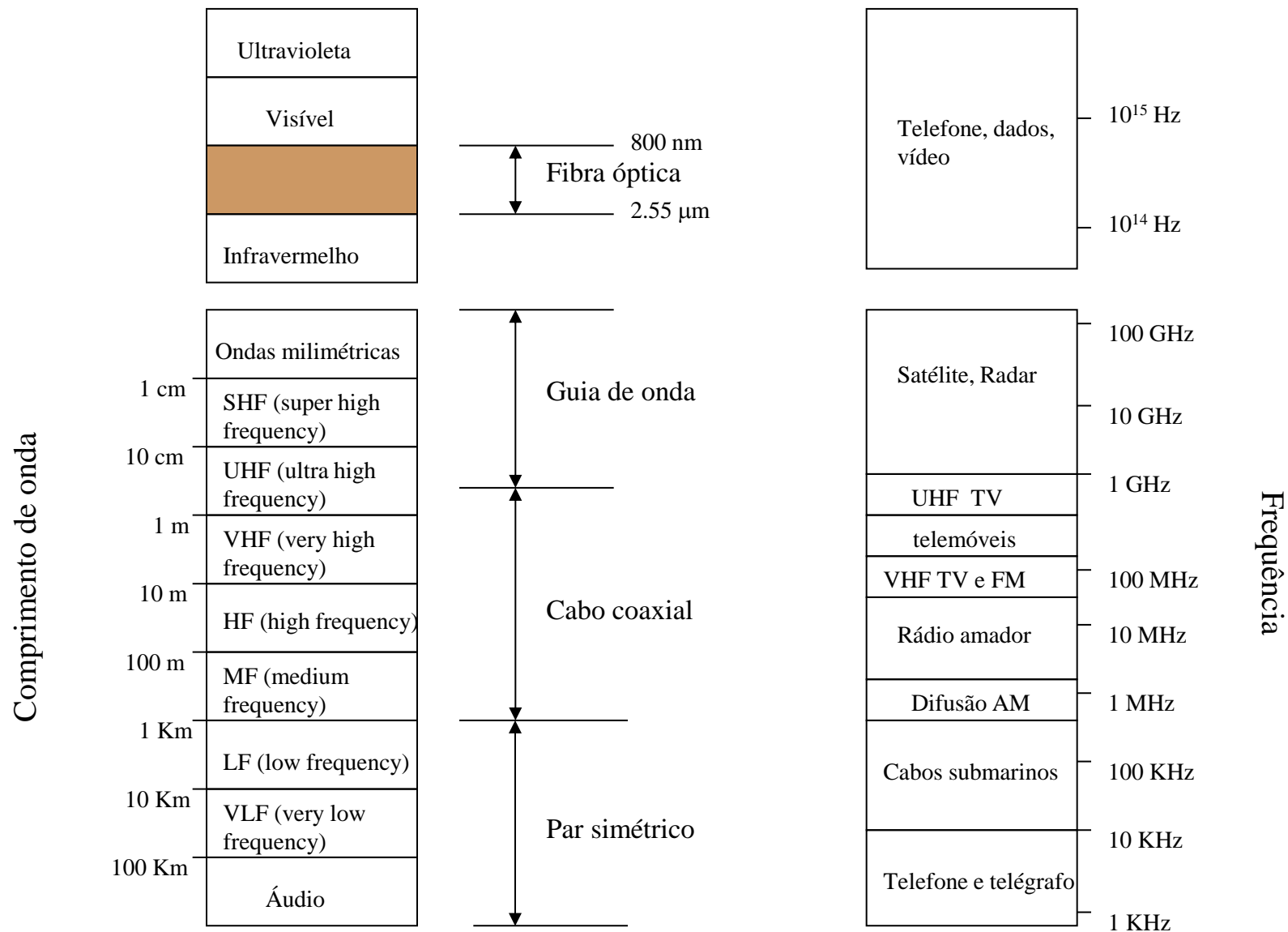
Outras Características

- Imunidade ao ruído
- Imunidade à diafonia
- Robustez física
- Preço

Glossário

- *BER - Bit Error Ratio*
Taxa de erro de bit, número de bits errados por número de bits transmitidos.
Modelizado por P_{eb} - Probabilidade de erro de bit.
(Diferente de *Bit Error Rate*: número de bits errados por unidade de tempo).
- *dB - deciBel*
Unidade logarítmica usada para comparar duas grandezas (ex., potência sinal emitido vs. recebido)

O Espectro Electromagnético



Equipamentos de transmissão

- *Codificador de linha.*

Equipamento que transforma bits (ou grupos de bits) em sinais em banda de base, ex. codificador diferencial Manchester. (Diferente de *codificador de sinal*, ex. codificador MPEG para áudio ou vídeo).



- *Moduladores:*

Equipamento que transforma bits (ou grupos de bits) em sinais em banda passante, ex. OFDM ou QAM. (Modem - modulador/demoduladores.)



- *Placas de rede.*

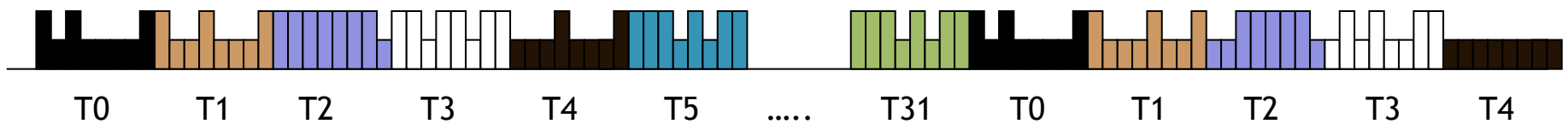
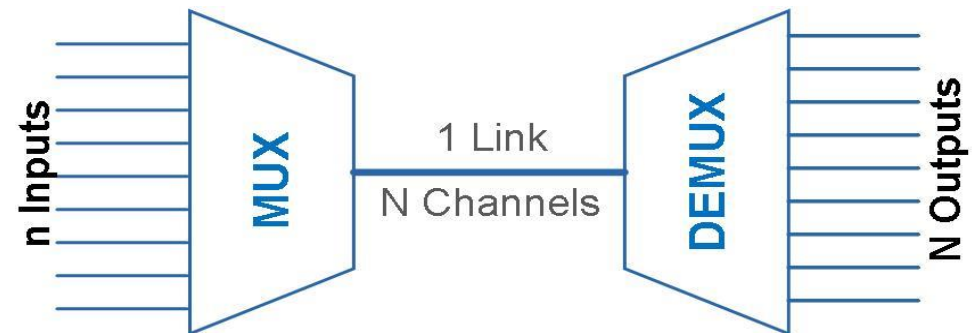
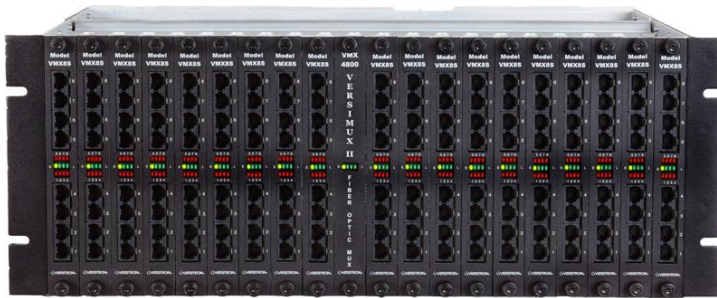
Codificadores/descodificadores ou moduladores/demoduladores são elementos componentes das placas de rede, ex. Ethernet ou WiFi (que possuem outros componentes - ver capítulo seguinte).



Um dos parâmetros de maior interesse prático na descrição dos equipamentos de transmissão é o seu *Ritmo binário*, R_b .

Nível Físico (*Physical Layer*)

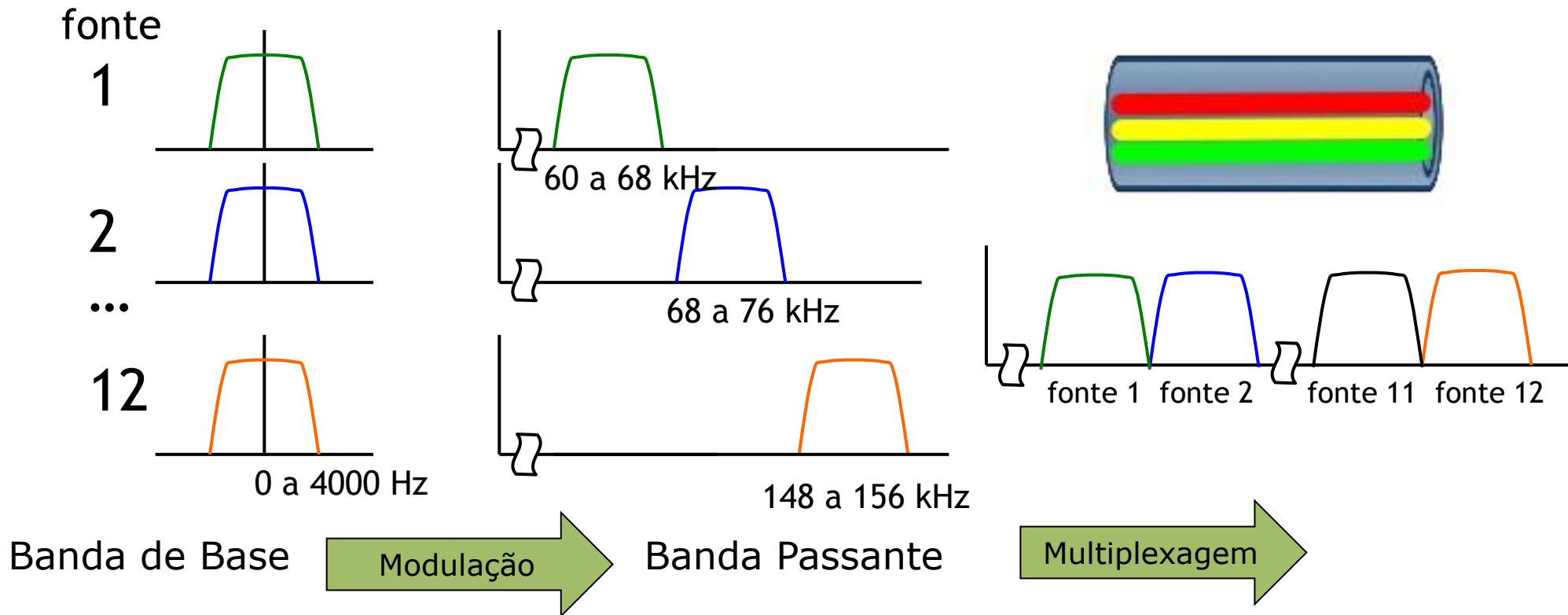
- Como se partilham os recursos de transmissão(ligação)?



Multiplexagem na Frequência - FDM

(Partilha do Meio de Tx por vários utilizadores)

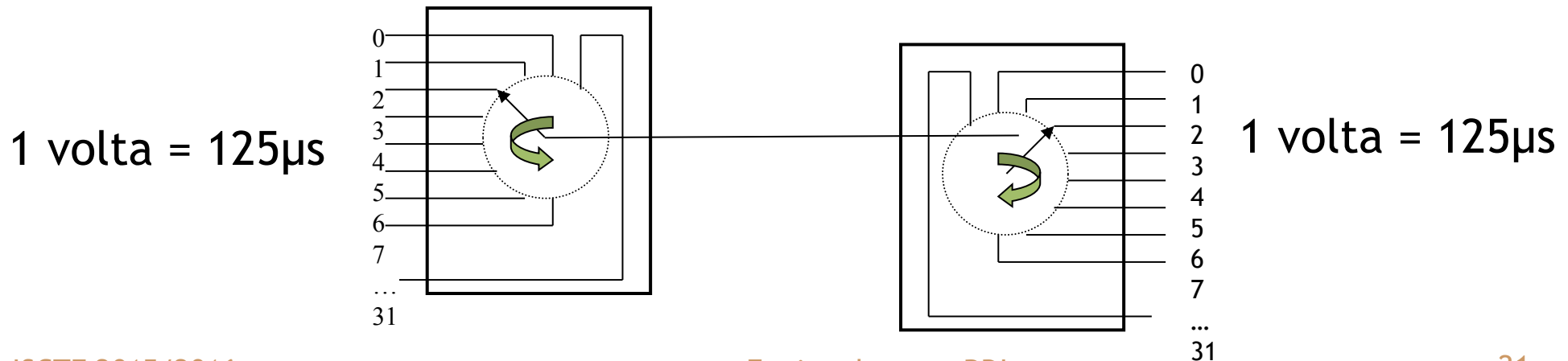
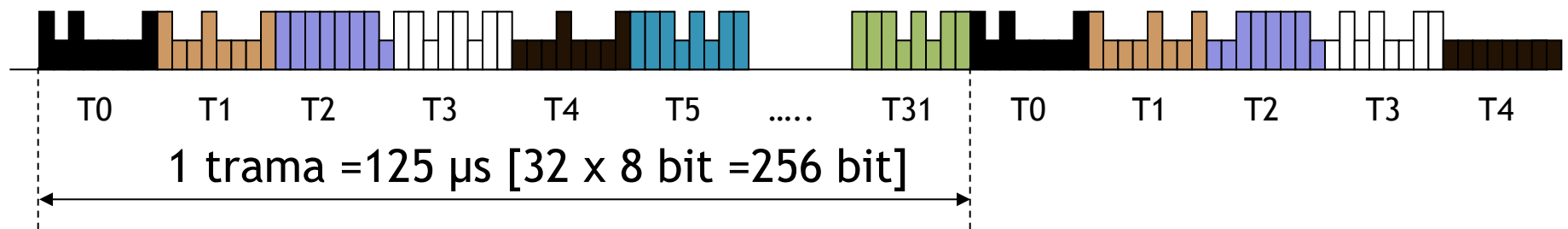
- A largura de banda disponível no meio de transmissão é dividida em sub-bandas (canais) não sobrepostos.
A cada fonte de tráfego é atribuído estaticamente um canal.



Multiplexagem no Tempo - TDM

(Partilha do Meio de Tx por vários utilizadores)

- No canal é ciclicamente transmitida (ex. a cada 125 μ s) uma trama TDM composta por um número fixo de time slots (ex., 32).
- A cada fonte de tráfego é atribuído estaticamente um (ou mais) *time slots*, os quais não podem ser usados por nenhuma outra fonte.



Multiplexagem no Tempo - TDM

(Partilha do Meio de Tx por vários utilizadores)

Sistema TDM particularmente adequado a fontes de informação contínua e que produzem um ritmo constante de bits, ex. voz:

Canal (fonte) de voz = 8 bits x 8000 amostra/s = 64 kbit/s

- Europa (sistema E1): 32 canais de voz $\Rightarrow r_b = 32 \times 64 \text{ kbit/s} = 2048 \text{ kbit/s}$
- Europa (sistema E2): 152 canais de voz $\Rightarrow r_b = 152 \times 64 \text{ kbit/s} = 8192 \text{ kbit/s}$

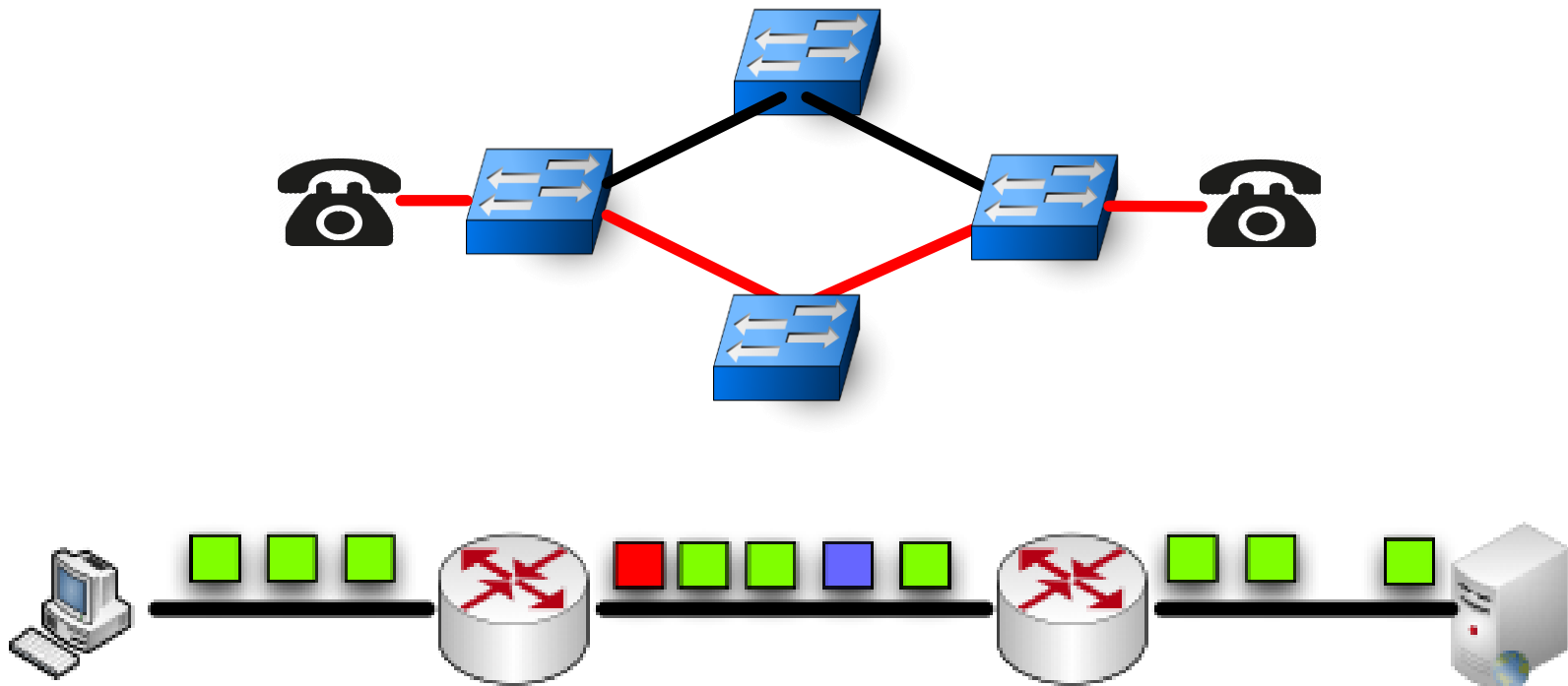


Fully populated VMX20 Chassis
(152 Phone Lines)

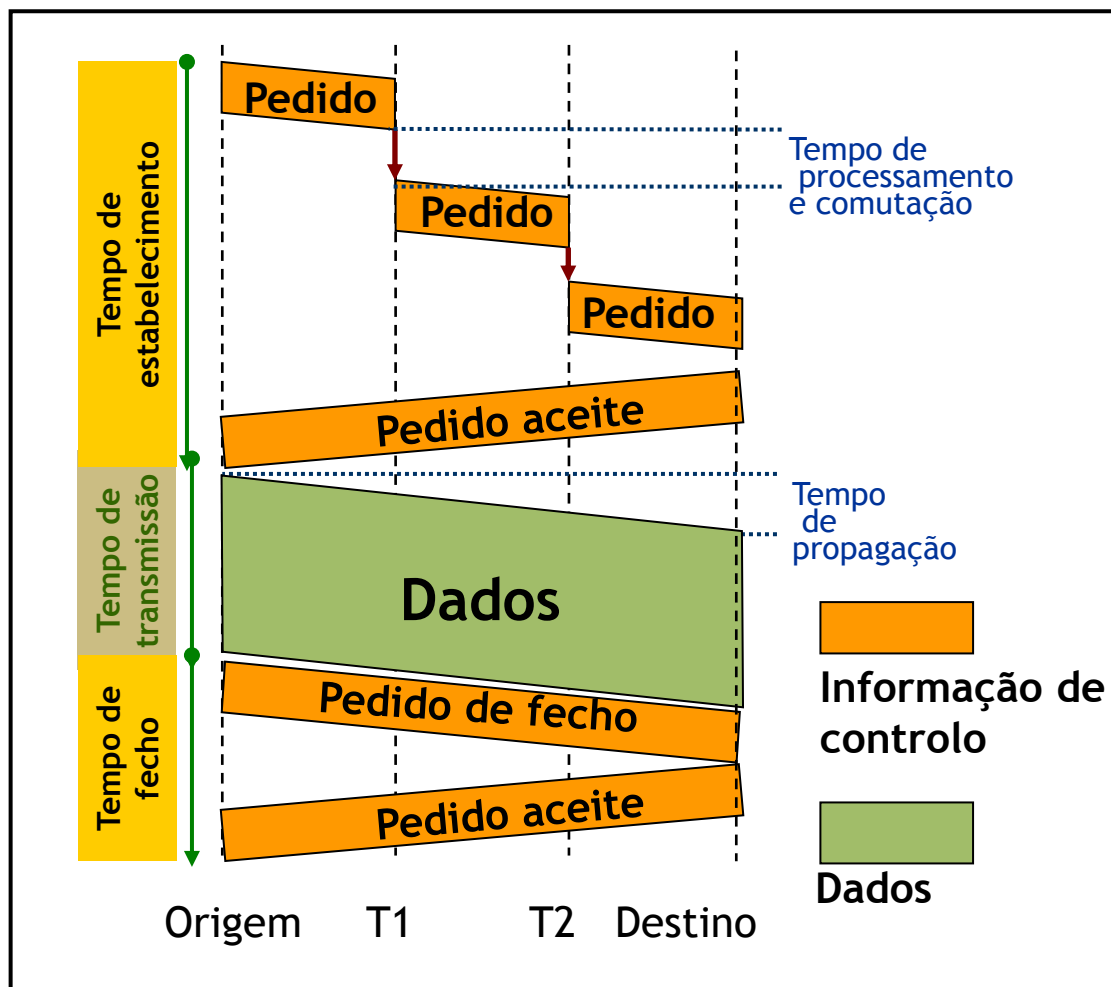
Exemplo: multiplexer para 152 linhas telefónicas (entradas RJ-11) partilhando uma fibra óptica.

Nível Físico (*Physical Layer*)

- Como se partilham os recursos de transmissão(rede)?



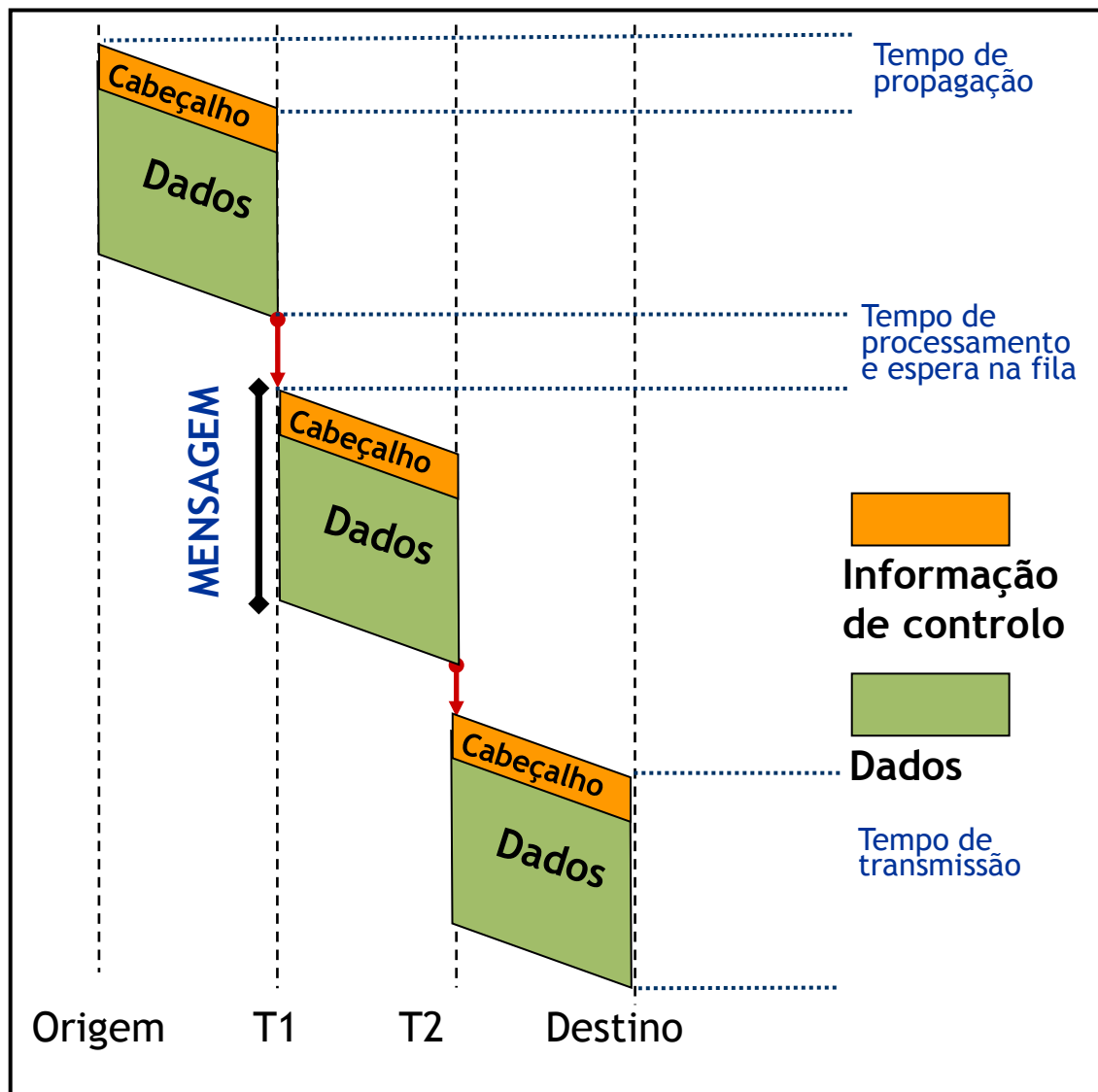
Tipos de Comutação



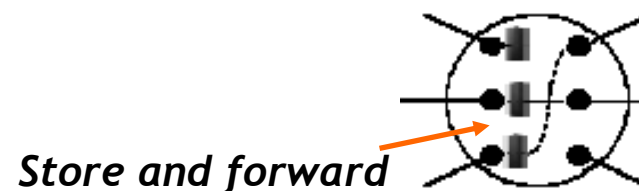
Comutação de circuitos



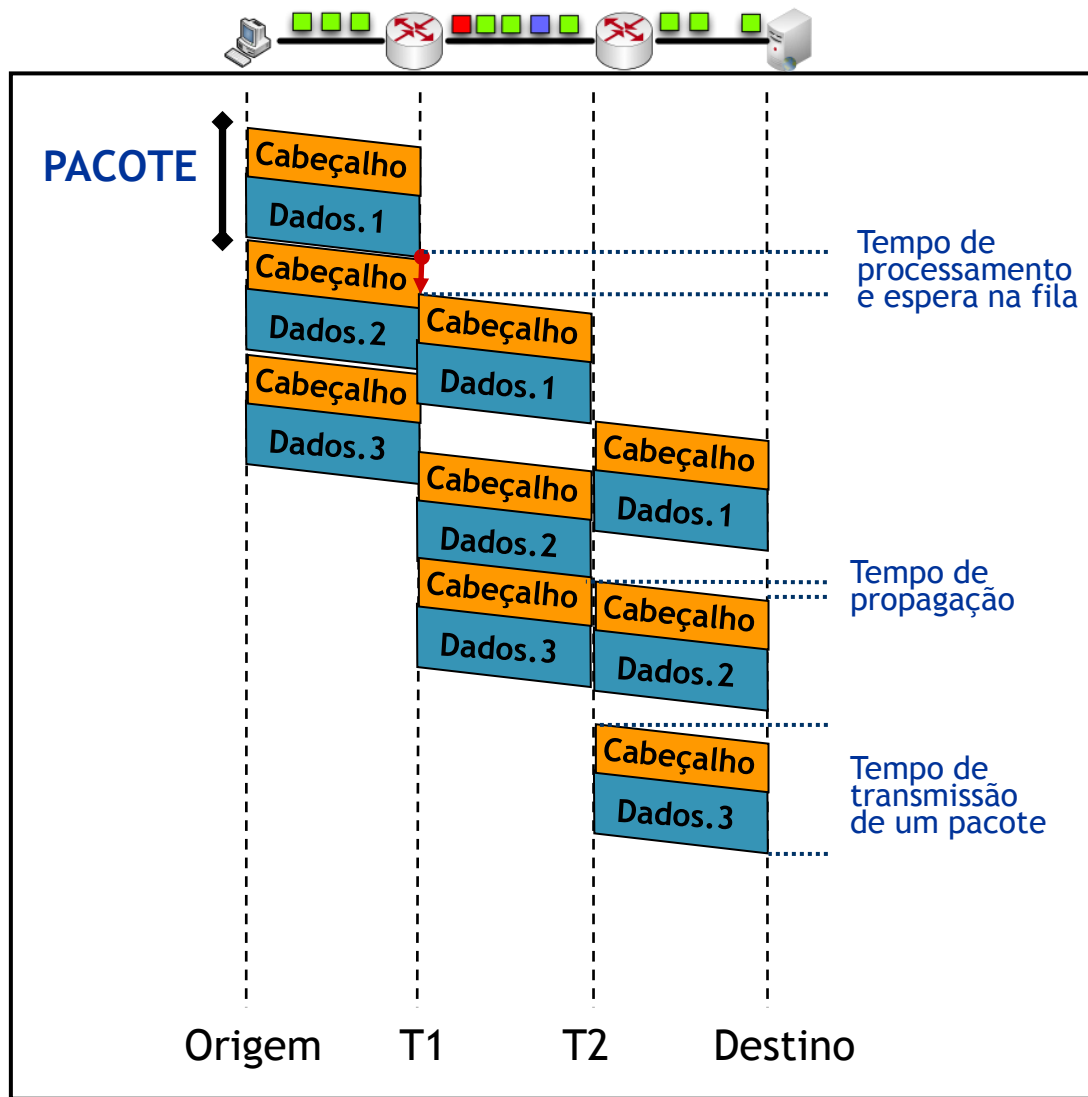
Tipos de Comutação



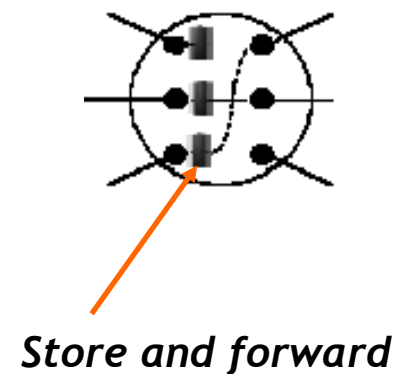
Comutação de Mensagens



Tipos de Comutação



Comutação de Pacotes



Tipos de Comutação

