

# CAPÍTULO 3

## Camada Física

### Modulação Multiplexação

## REDES DE COMPUTADORES 1

Engenharia de Telecomunicações

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

#### ▶ **Transmissão em Banda Base**

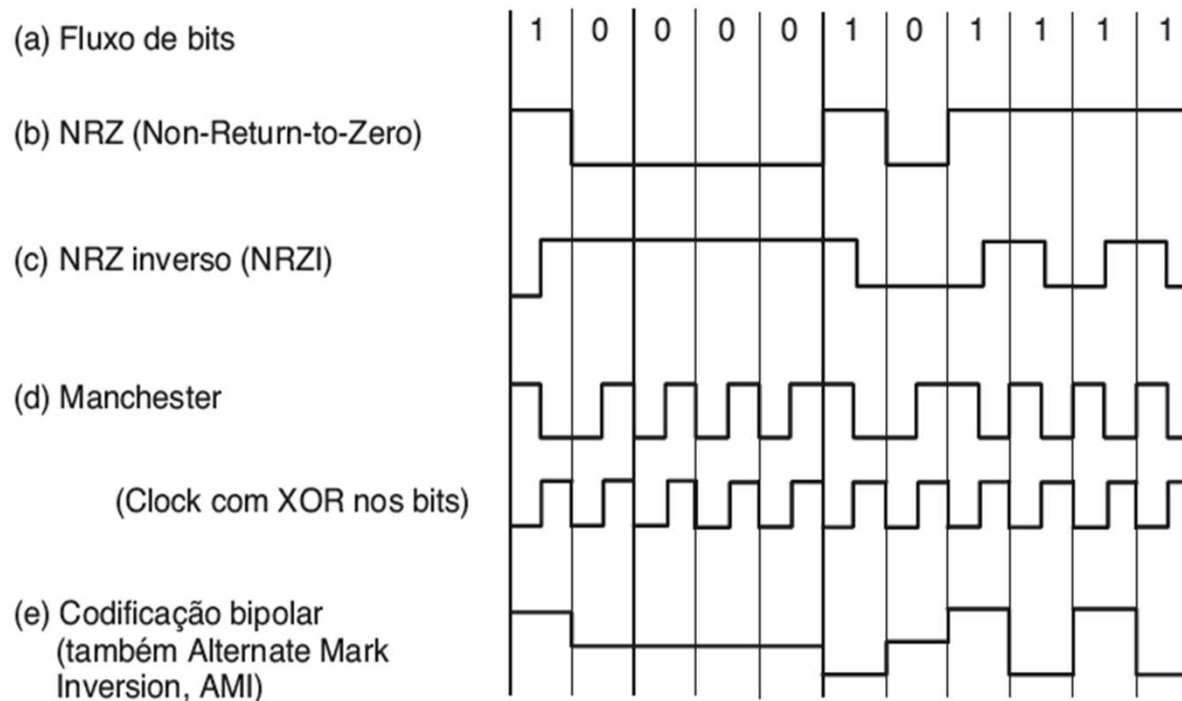
- ▶ Consiste em esquemas que convertem diretamente bits em sinal. A forma mais simples é utilizar uma tensão positiva para representar “1” e uma tensão negativa para o “0”.
- ▶ No caso de uma fibra óptica, a presença de luz pode representar “1” e a ausência “0”. Este tipo de esquema é chamado de **NRZ (Non-Return-to-Zero)**.
- ▶ Com o NRZ o sinal pode alternar entre 2 níveis por símbolo (sinal de tensão que representa os bits), ou seja com um símbolo é possível representar 1 bit por vez. Por isso é necessária uma largura de banda de pelo menos  $B/2$  Hz para uma taxa de bits de  $B$  bits/s.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

- ▶ Como Largura de banda é um recurso limitado, pode-se utilizar mais de dois níveis por símbolo. Usando 4 níveis de tensão, por exemplo é possível enviar 2 bits ao mesmo tempo com um único símbolo.
- ▶ A taxa na qual o sinal muda é chamada de taxa de símbolos ou taxa baud para diferenciá-la da taxa de bits.
- ▶ Após um certo tempo de transmissão, é difícil para um receptor distinguir 15 zeros de 16 zeros sequenciais, por isso é necessário um clock preciso para que o receptor saiba quanto um símbolo termina e outro começa.
- ▶ Uma estratégia inteligente é misturar o sinal de clock com o sinal de dados efetuando a operação XOR por ambos.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação



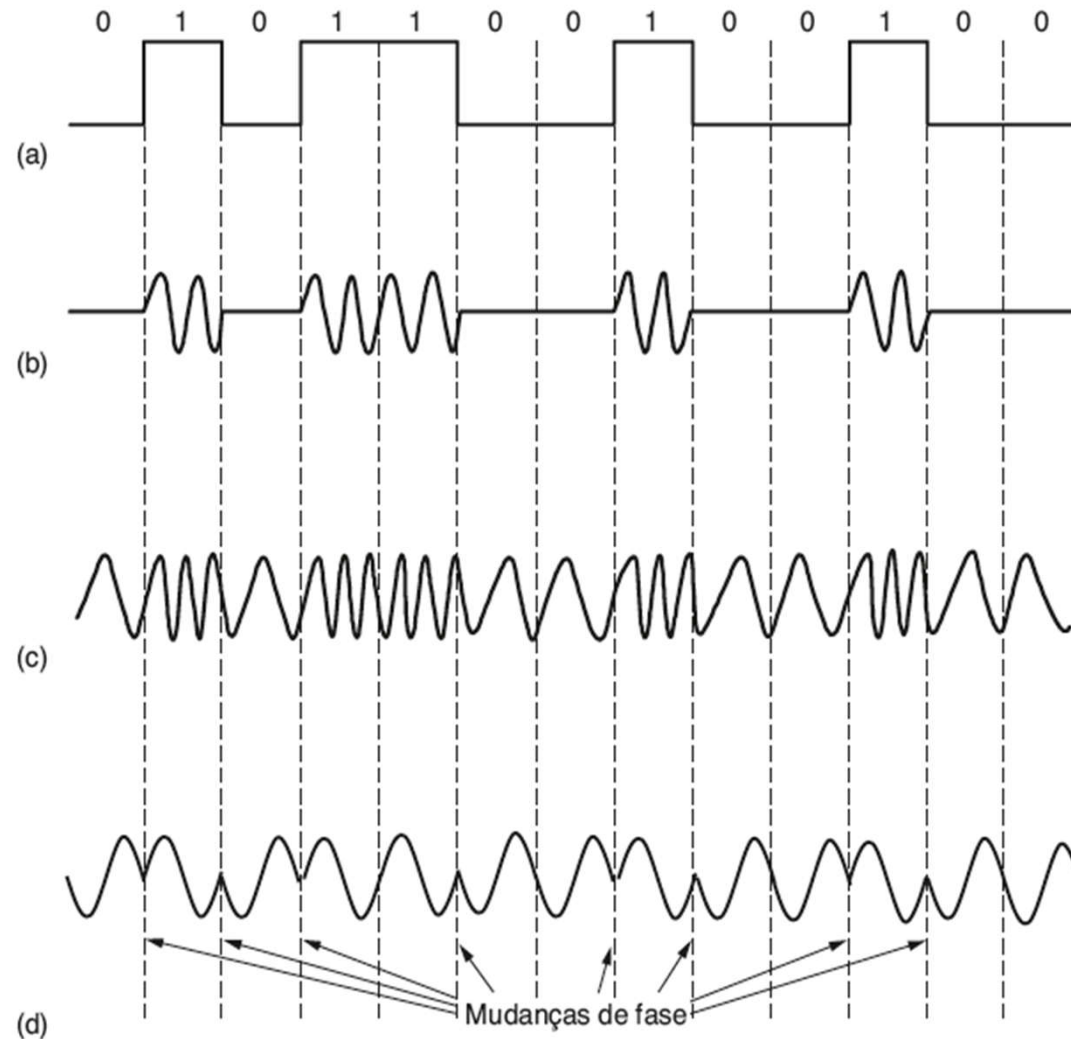
- ▶ O clock faz uma transição de clock a cada tempo de bit, de modo que ele funciona com o dobro da taxa de bits.
- ▶ Quando ele é XORado com nível "0", ele faz a transição do baixo para o alto que é simplesmente o clock. Isto é conhecido como codificação Manchester.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

- ▶ **Transmissão em Banda Passante**
- ▶ São esquemas que ajustam a amplitude, a fase ou a frequência de um sinal da portadora para transportar bits de um sinal de origem. Este processo é chamado de modulação.
- ▶ Essa modulação provocará transições abruptas de símbolos
  - ▶ Modulação por chaveamento de amplitude (ASK)
  - ▶ Modulação por chaveamento de frequência (FSK)
  - ▶ Modulação por chaveamento de fase (PSK)
  - ▶ Modulação por chaveamento de fase e amplitude (APSK ou APK)
- ▶ Na Fig. (c) há um deslocamento de 0 a 180° em cada período do símbolo, chama-se de BPSK (Binary Phase Shift Keying). O chaveamento binário refere-se aos dois símbolos envolvidos.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação



(a) Sinal binário.

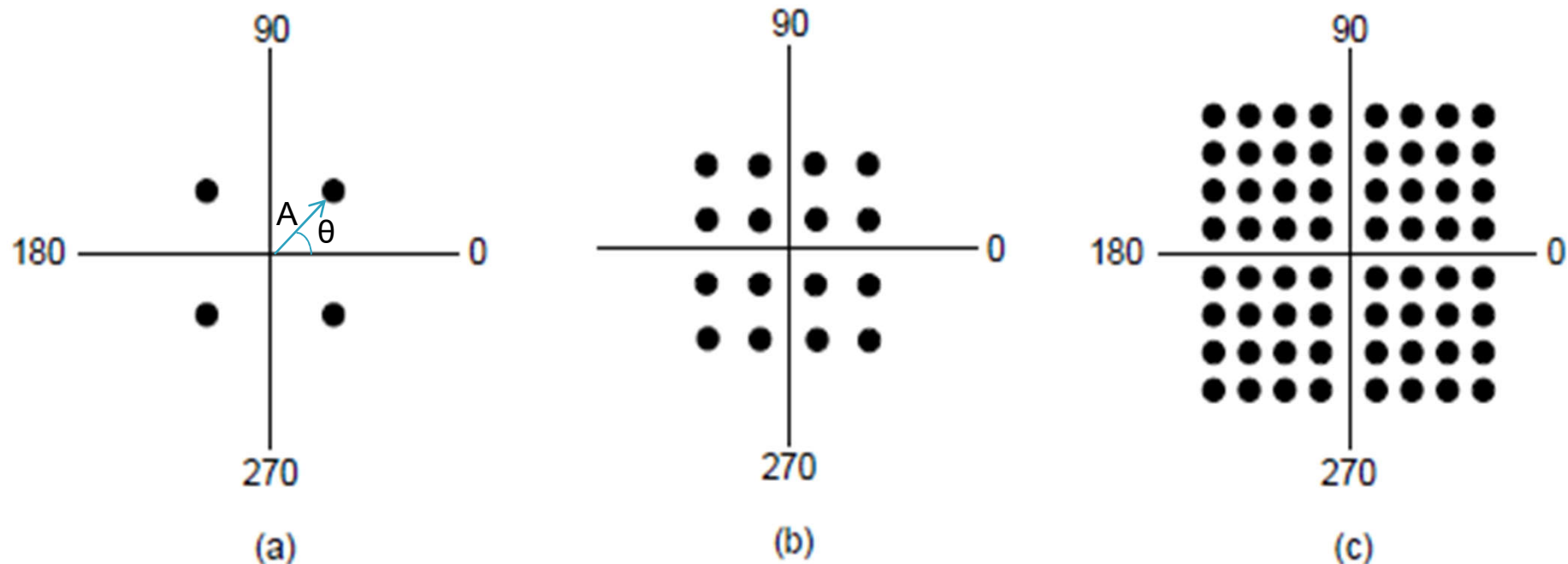
(b) Chaveamento por mudança de amplitude.

(c) Chaveamento por mudança de frequência.

(d) Chaveamento por mudança de fase.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- Um melhor mais eficiente no uso da largura de banda é utilizar 4 deslocamentos, por exemplo, 45, 135, 225 ou 315 graus para transmitir 2 bits de informação por símbolo. Em cada exemplo os pontos dão as combinações válidas de amplitude e de fase de cada símbolo.



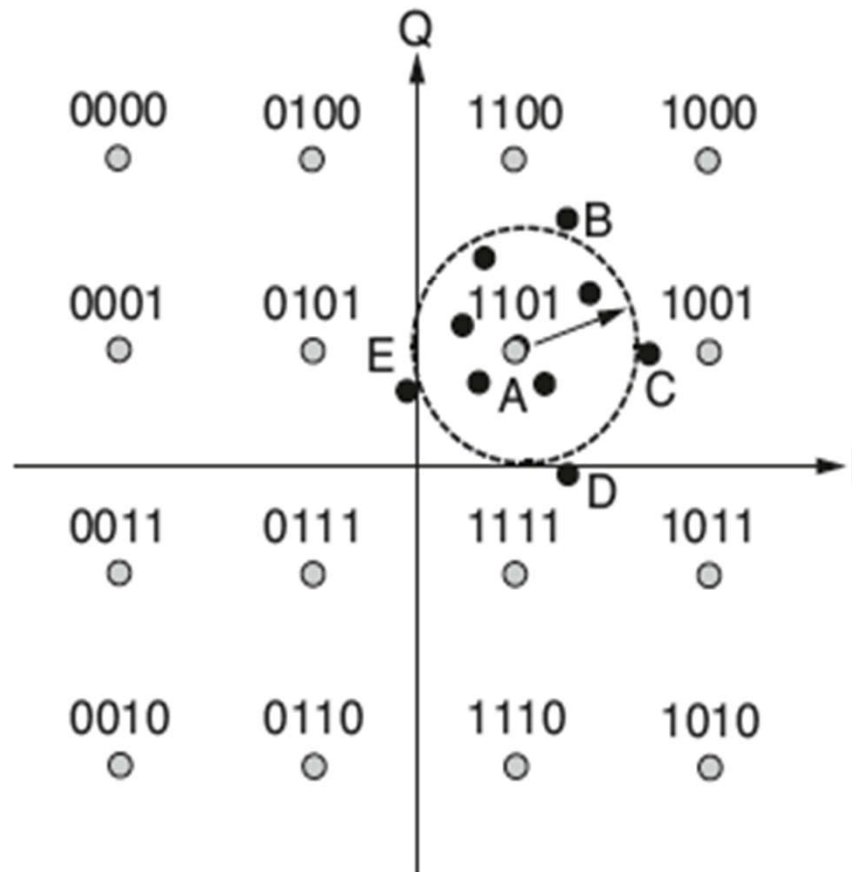
(a) QPSK. (b) QAM-16. (c) QAM-64.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- ▶ A modulação QPSK (Quadrature Phase Shift Key) geralmente modula amplitude e fase em combinação.
- ▶ Na Fig. (a) vemos pontos equidistantes em 45, 135, 225 e 315 graus. A fase de um ponto é indicada pelo ângulo que uma linha a partir dele até a origem faz com o eixo x positivo. A amplitude de um ponto é a distancia a partir da origem. Esse tipo de diagrama é chamado de constelação.
- ▶ Ao se atribuir bits aos simbolos, uma consideração importante é que uma pequena rajada de ruido no receptro não ocasione muitos erros de bit. Pode-se conseguir isso se atribuíssemos valores de bits consecutivos a simbolos adjacentes, ou seja, os simbolos vizinhos devem diferir apenas em 1 posição de bit. Esse mapeamento é chamado de **Código de Gray**.



### 3. Modulação Digital e Multiplexação



Quando 1101 é enviado:

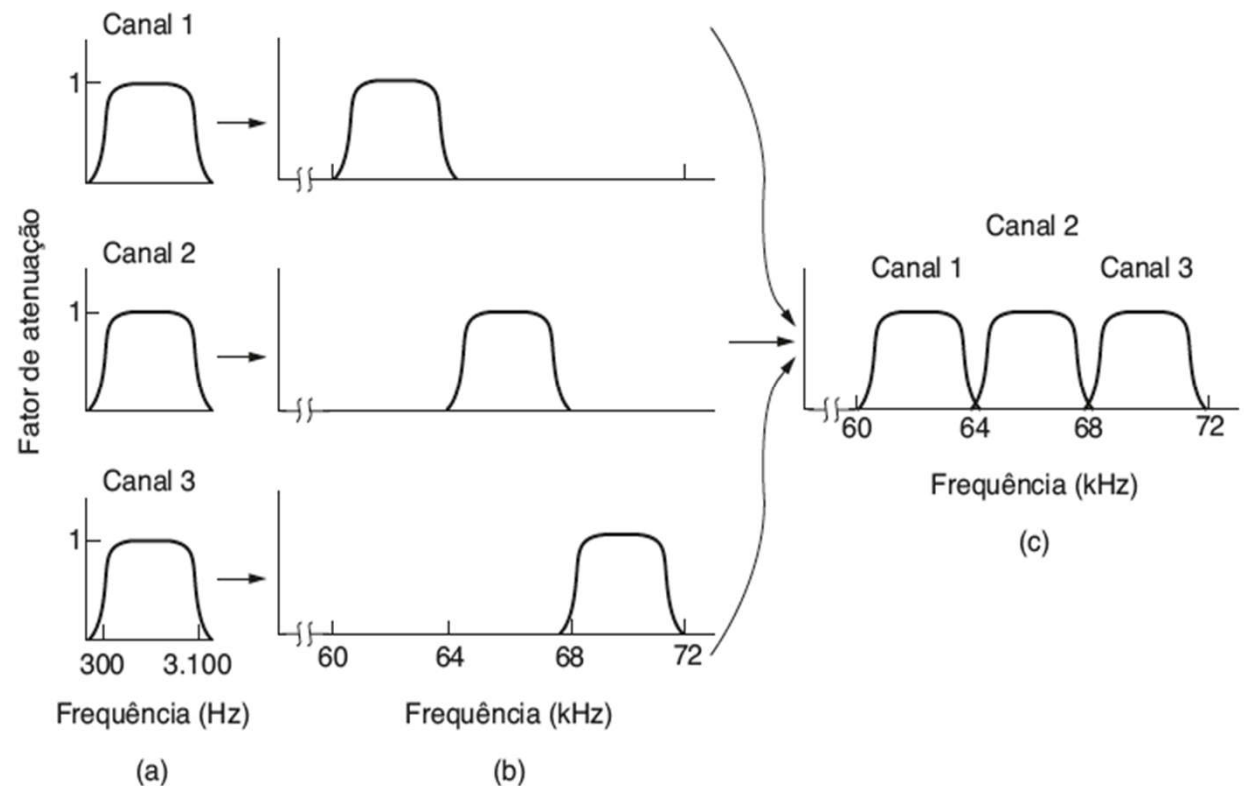
Ponto	Decodifica como	Erros de bit
A	1101	0
B	110 <u>0</u>	1
C	1 <u>0</u> 01	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

Código de Gray QAM-16.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

#### ► Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM)

- A FDM (Frequency Division Multiplexing) divide o espectro da banda passante em bandas de frequência com cada serviço utilizando sua banda exclusiva para transmitir seus sinais.



- (a) Largura de banda original. (b) Aumento da largura de banda com a frequência.  
(c) Canal multiplexado.

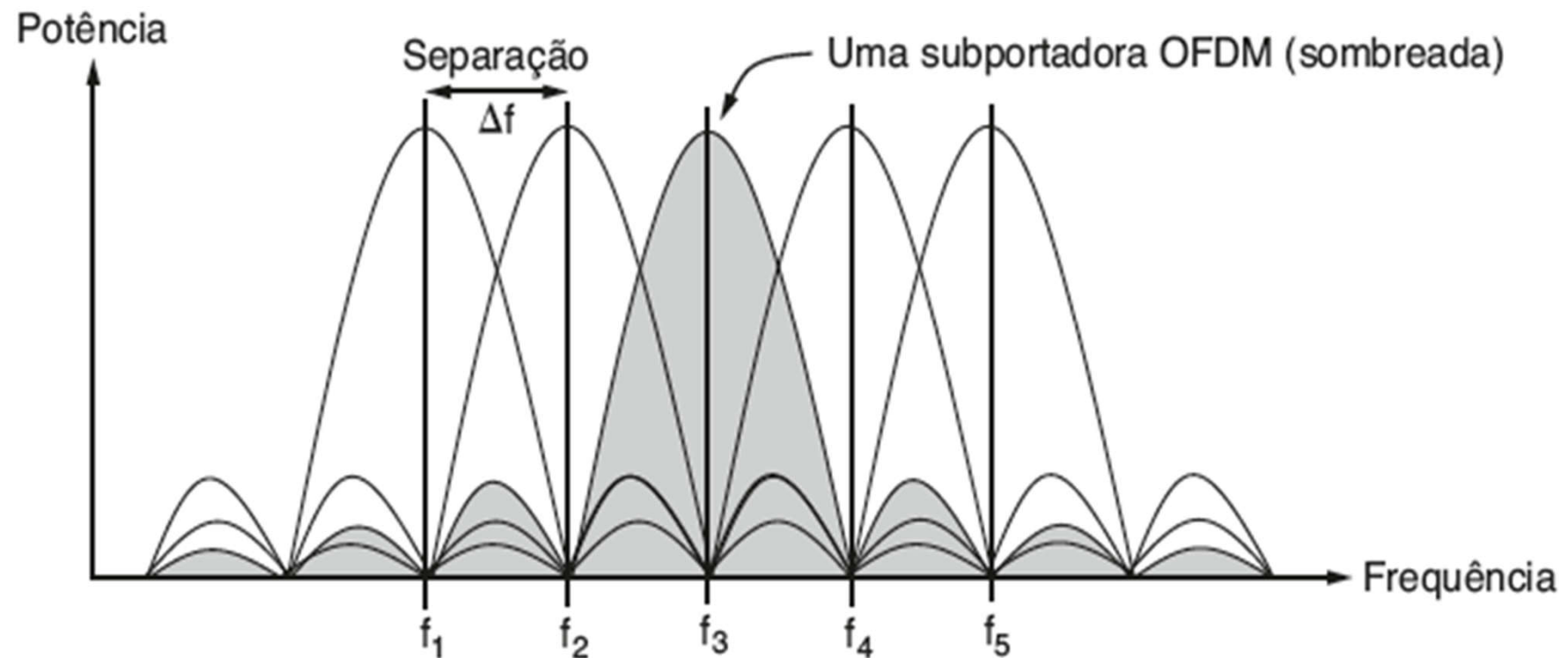
### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

- ▶ Na figura, temos 3 canais de voz limitados por filtros a 3100Hz de largura de banda e multiplexados em FDM.
- ▶ Quando se multiplexa muitos canais ao mesmo tempo, são alocados 4000Hz para cada canal. Esse excesso é chamado de banda de proteção. Mesmo assim, há uma pequena sobreposição devido a não existir filtros ideais.
- ▶ É possível também se dividir o espectro sem utilizar bandas de proteção. Na multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM) a largura de banda é dividida em muitas subportadoras que enviam dados independentemente. Os sinais de cada subportadora se estendem para os canais adjacentes, porém de forma que a resposta em frequência seja zero no centro das subportadoras adjacentes.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- ▶ Um tempo de proteção é necessário, porém ainda é mais vantajoso que se ter muitas bandas de proteção.



Multiplexação ortogonal com divisão de frequência (OFDM).

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- ▶ **Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM)**
- ▶ Neste metodo os usuarios se alternam (rodizio) cada um utilizando a largura de banda inteira por um pequeno periodo de temepo.
- ▶ Os bits de cada fluxo de entrada são colocados em slots de tempo fixo e enviados para um fluxo agregado.
- ▶ Para um perfeito funcionamento, os fluxos precisam estar sincronizados no tempo e pequenos intervalos de tempo são adicionados para fazer a função semelhante as bandas de proteção.



Multiplexação por divisão de tempo (TDM).

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

- ▶ **Multiplexação por Divisão de Código (CDM)**
- ▶ Este método permite que cada estação transmita por todo o espectro de frequência o tempo todo e essas várias transmissões simultâneas são separadas por códigos de identificação. Por isso esse tipo de multiplexação é normalmente chamado de acesso múltiplo por divisão de código (CDMA).
- ▶ No CDMA o tempo de duração de um bit é subdividido em  $m$  intervalos curtos chamados de **chips**.
- ▶ Cada estação recebe um código de  $m$  bits exclusivo, que será usado para identificar seus dados transmitidos no receptor, chamado de **sequência de chips**.
- ▶ Para transmitir o bit 1 a estação envia sua sequência de chips ( $g$ ) e para transmitir o bit 0 ela envia a negação da sua sequência de chips ( $\bar{g}$ ).

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

#### ▶ Multiplexação por Divisão de Código (CDM)

- ▶ Todas as sequencias de chips devem ser ortogonais par a par. Isso significa que o produto normalizado de duas sequencias de chips distintas, S e T é zero. O produto normalizado desta sequencia com sua negação também é zero.

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

- ▶ Por outro lado o produto interno normalizado de qualquer sequencia de chips por ela mesma é igual a 1. O produto normalizado desta sequencia com sua negação também é 1.

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$



### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- Vamos considerar  $m = 8$  e a representação dos bits como: 0 = -1V e 1 = 1V.

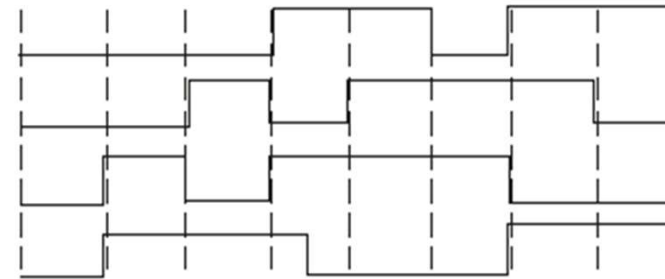
$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

(a)



(b)

$$S_1 = C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$$

$$S_3 = A+\bar{B} = (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$$

$$S_4 = A+\bar{B}+C = (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$$

$$S_6 = A+B+\bar{C}+D = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$$

(c)

$$S_1 \cdot C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \cdot C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$

$$S_3 \cdot C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \cdot C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \cdot C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \cdot C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

(d)

(a) Sequência de chips para quatro Estações    (b) Sinais representativos das sequências.

(c) Seis exemplos de transmissão.

(d) Recuperação da transmissão C.



### 3. Modulação Digital e Multiplexação

- ▶ No instante S4, a estação A transmite 1, ao mesmo tempo que a estação B transmite 0 e a estação C transmite 1 ( $\tilde{S}_4 = A + \bar{B} + C$ ). Esta soma representa o sinal combinado no meio neste instante  $(-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$
- ▶ Para recuperar apenas o bit transmitido pela estação C, basta multiplicar o sinal combinado pelo código de C e dividir o resultado por 8.

$$\tilde{S}_4 \bullet C = [(-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1) \times (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)] / 8$$

- ▶ Dada uma capacidade computacional suficiente, o receptor poderá escutar todos os transmissores ao mesmo tempo, executando algoritmos de decodificação de cada um deles em paralelo.

### 3. Modulação Digital e Multiplexação

---

#### ▶ **ANALOGIA RESUMIDA**

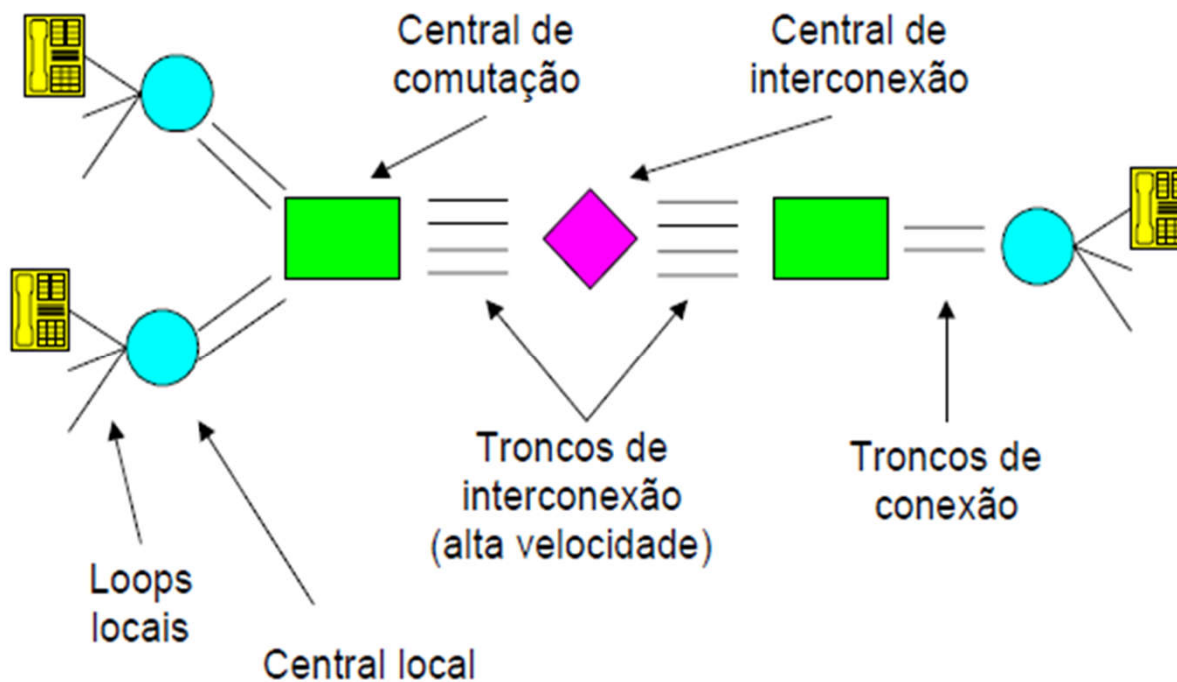
- ▶ Suponha um grupo de pessoas conversando num saguão de um aeroporto.
  - ▶ FDM = as pessoas formariam grupos bem separados, cada um mantendo sua própria conversação ao mesmo tempo e independente dos demais grupos.
  - ▶ TDM = todas as pessoas estariam no meio do saguão, mas conversariam por turnos, pares de pessoas de cada vez;
  - ▶ CDM = todas as pessoas estariam no meio do saguão falando ao mesmo tempo, mas cada par de pessoas conversando em um idioma diferente. Um par que estivesse falando em inglês só reconheceria este idioma, rejeitando tudo que não fosse inglês como ruído.

## 3.1 A Rede Pública de Telefonia Comutada

---

- ▶ **Estrutura do Sistema Telefônico**
- ▶ Quando as distancias começam a ficar grandes, ha muitos computadores ou os cabos tem de atravessar uma estrada ou outra passagem pública, os custos de instalação de cabos privados costumam ser proibitivos. Neste sentido, a PSTN (Public Switched Telephone Network) é adaptada para a comunicação computador/computador.
- ▶ Atualmente, o sistema telefônico e formado por três componentes principais:
  1. Centrais telefônicas locais, às quais estão conectados os aparelhos telefônicos de uma pequena região (distância máxima típica de 10 Km);
  2. Centrais telefônicas de comutação, as quais se ligam várias centrais locais de diversas pequenas regiões;
  3. Centrais telefônicas de interconexão, que interligam centrais de comutação de regiões mais abrangentes.

## 3.1 A Rede Pública de Telefonia Comutada



- **Enlaces de loop local**, normalmente em fio de cobre com sinalização analógica;

- **Enlaces de tronco de conexão**, normalmente feitos em fio de cobre especial ou fibra ótica (mais comum hoje em dia);

- **Enlaces de tronco de inter-conexão**, normalmente feitos em microondas ou fibra ótica (mais comum hoje em dia).

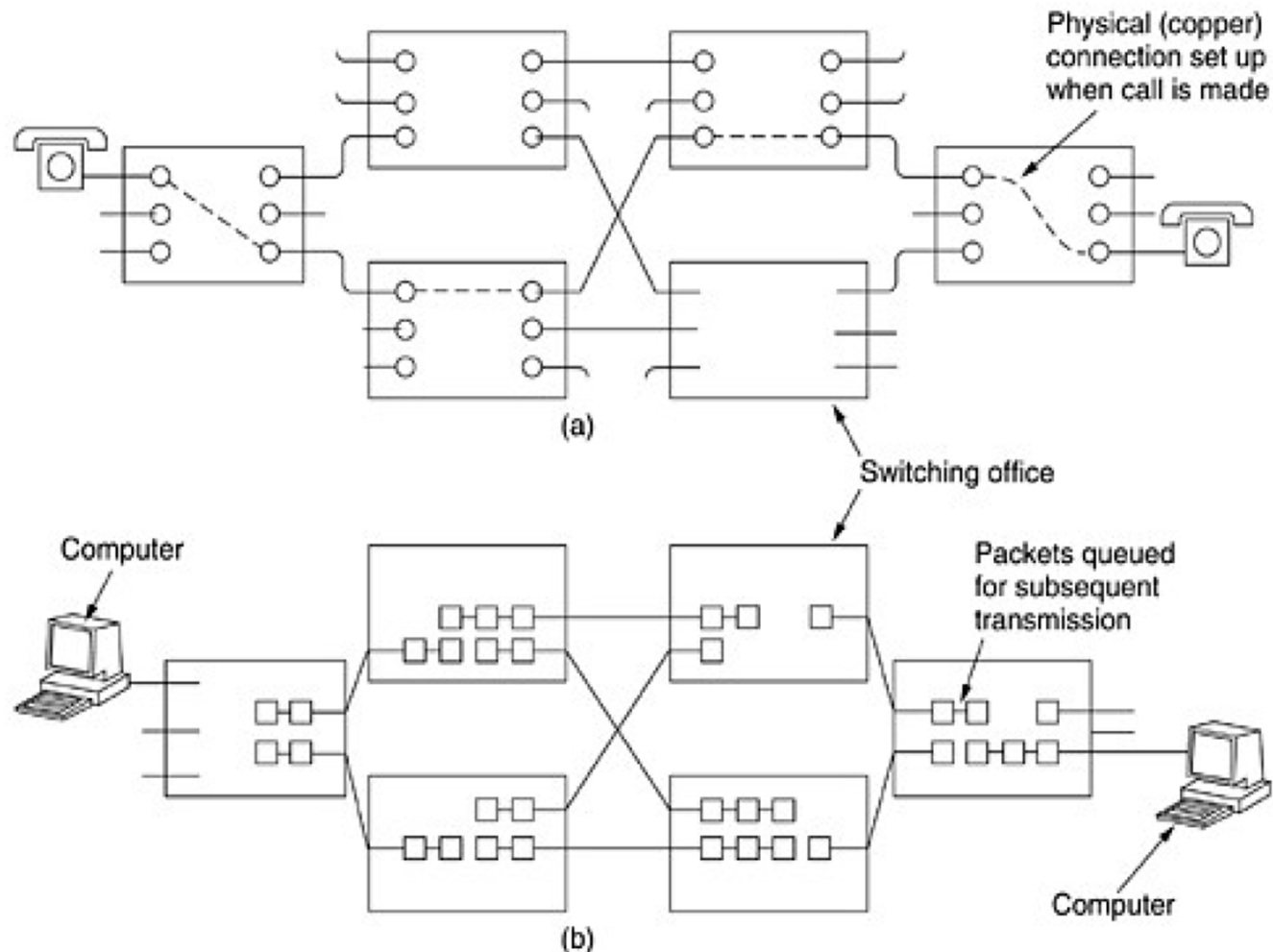
## 3.1 A Rede Pública de Telefonia Comutada

---

### ► **Comutação**

- Dentro do sistema telefônico são usadas hoje duas técnicas de comutação diferentes: a comutação de circuitos e a comutação de pacotes..
- **Comutação de circuitos:** Quando um computador efetua uma chamada telefônica, o equipamento de comutação do sistema telefônico procura um caminho físico dedicado desde a origem até o receptor.
- **Comutação de pacotes:** Pacotes individuais são enviados conforme necessário, sem a configuração com antecedência de qualquer caminho dedicado. Cabe a cada pacote descobrir sozinho seu caminho até o destino. As redes de comutação de pacotes impõem um limite Máximo restrito sobre o tamanho do bloco, permitindo que os pacotes sejam armazenados temporariamente na memória principal do roteador e não em um disco.

## 3.1 A Rede Pública de Telefonia Comutada



**Figura.** (a) Comutação de circuitos. (b) Comutação de pacotes.

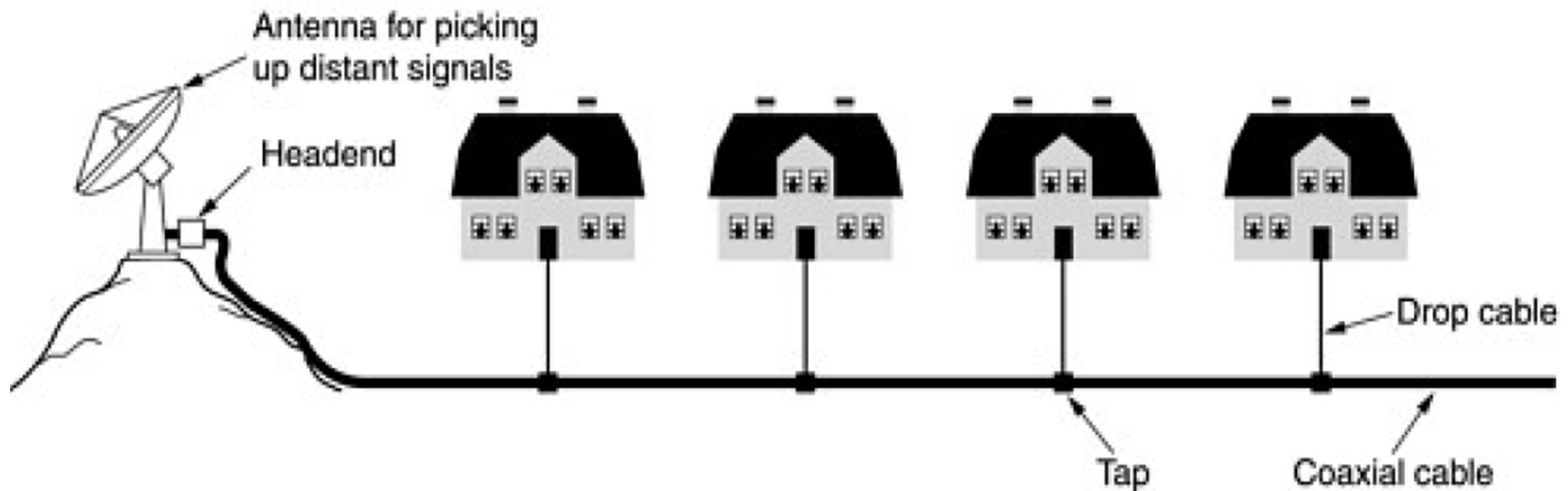
## 3.2 O sistema de Telefonia Móvel

- ▶ As redes de telefonia móvel celular representa uma grande rede de dados e voz nos dias atuais, permitindo o acesso a internet e diversas redes de computadores .
- ▶ A primeira geração foi a voz analógica, a segunda foi a voz digital. A terceira geração ou 3G, trata voz e dados digitais.
- ▶ A quarta geração já utiliza a tecnologia LTE, que permitem alta largura de banda, gerenciamento adaptativo de recursos de espectro e alta qualidade de serviços multimídia.



### 3.3 Televisão a cabo (CATV)

- ▶ No início, o sistema consistia em uma grande antena situada no alto de uma colina para captar o sinal de televisão que se propaga pelo ar, um amplificador chamado *head end* para esforçá-lo e um cabo coaxial para distribuí-lo pelas casas das pessoas, como ilustra a Figura.
- ▶ Por isso é chamado CATV (*Community Antenna Television*)

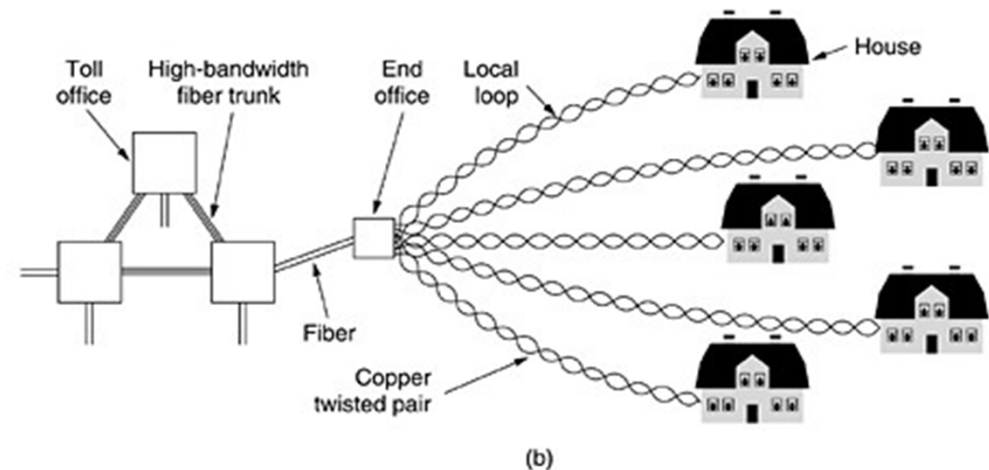
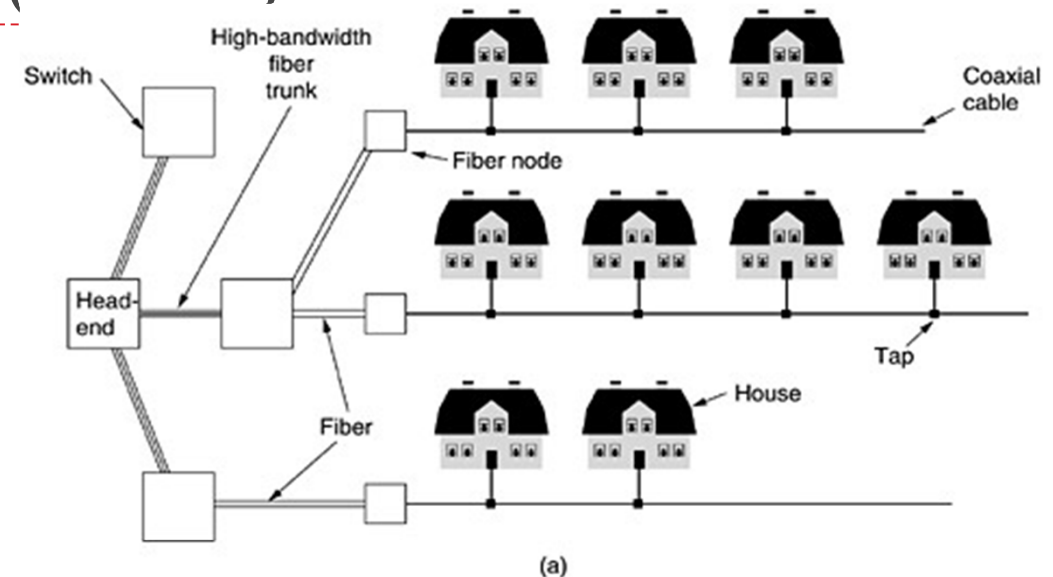


**Figura.** Um antigo sistema de televisão a cabo



### 3.3 Televisão a cabo (CATV)

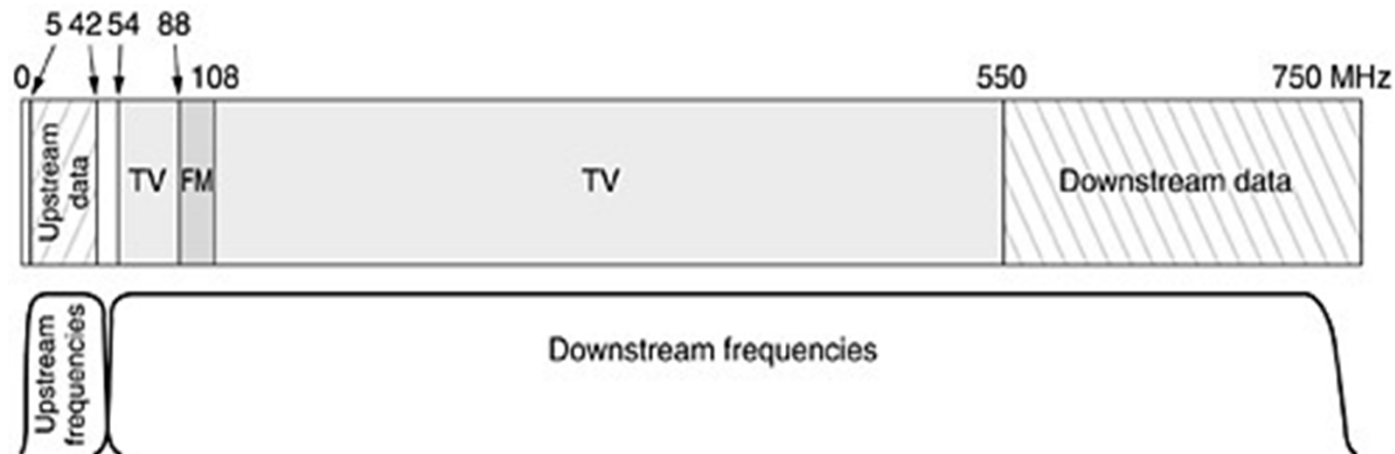
- ▶ Um sistema com fibra nas linhas principais e cabo coaxial nas ligações para as residências e chamado **sistema HFC (Hybrid Fiber Coax)** — sistema híbrido de cabo coaxial e fibra).
- ▶ Nos últimos anos, muitas operadoras de televisão a cabo decidiram entrar no ramo de acesso a Internet e, muitas vezes, no ramo de telefonia.



**Figura.** (a) Televisão a cabo.  
(b) O sistema de telefonia fixa

### 3.3 Televisão a cabo (CATV)

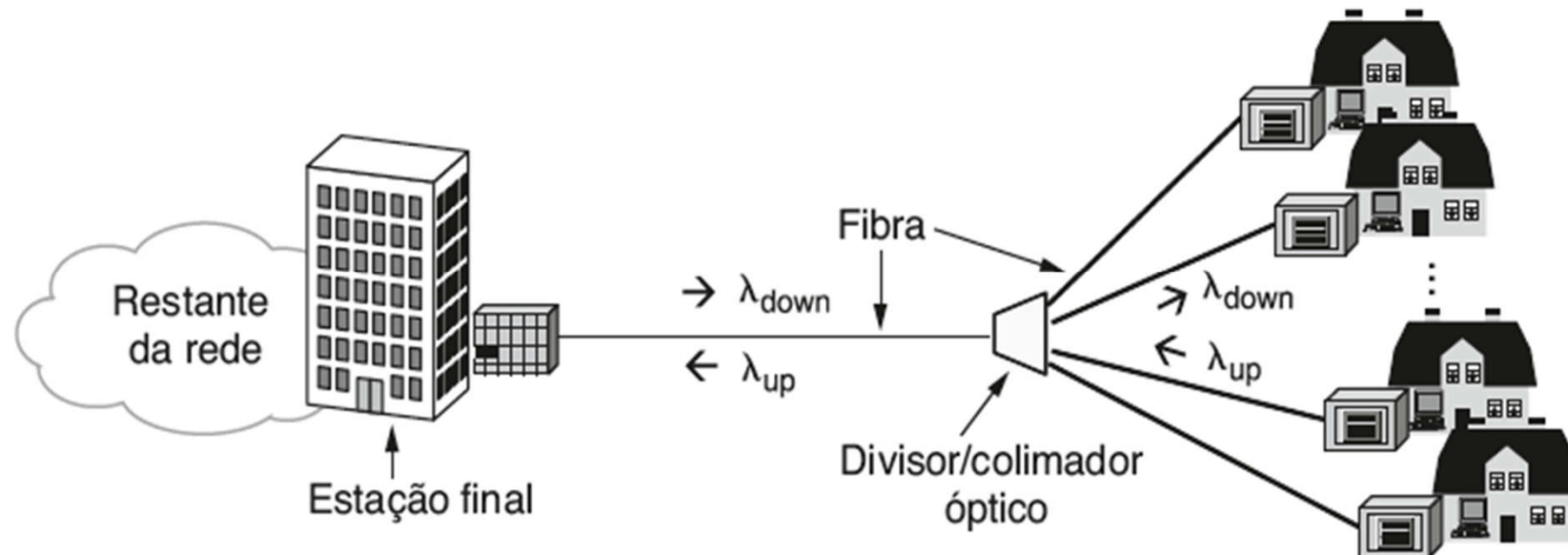
- ▶ A solução escolhida foi introduzir upstream na banda de 5 a 42 MHz (um pouco mais alta na Europa) e usar as frequências na extremidade alto para o fluxo *downstream*. O espectro dos serviços de cabo é ilustrado na Figura
- ▶ Os canais de televisão a cabo da América do Norte ocupam normalmente a região de 54 a 550 MHz (com exceção do rádio FM, que ocupa a faixa de 88 a 108 MHz). Esses canais têm 6 MHz de largura, incluindo as bandas de proteção.



**Figura.** Alocação de frequências em um sistema TV a cabo usado para acesso a Internet

## 3.4 Fiber to the Home (FTTH)

- ▶ Essa tecnologia utiliza uma rede óptica passiva (PON) para alcançar as residências com sinal óptico de conexão a internet.
- ▶ Normalmente se utiliza um comprimento de onda compartilhado para Downstream e outro para upstream.



Rede óptica para o Fiber To The Home.