

# Redes sem fio - conceitos

---

OIRC - Interconexão de redes de computadores

Prof. Dr. Ricardo José Pfitscher

[ricardo.pfitscher@gmail.com](mailto:ricardo.pfitscher@gmail.com)

Capítulo 3. Forouzan, A. Behrouz.

Data communications & networking (sie).

Tata McGraw-Hill Education, 2007.



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA

# Transmissão em redes sem fio

- A comunicação, desde seus primórdios, consiste no envio de sinais de um ponto A para um ponto B
  - Ok. Nós nos comunicamos falando também...

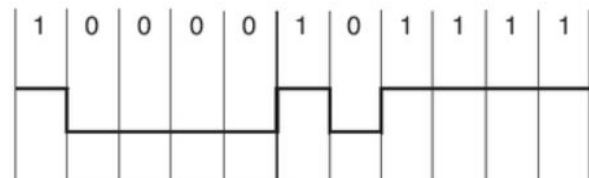
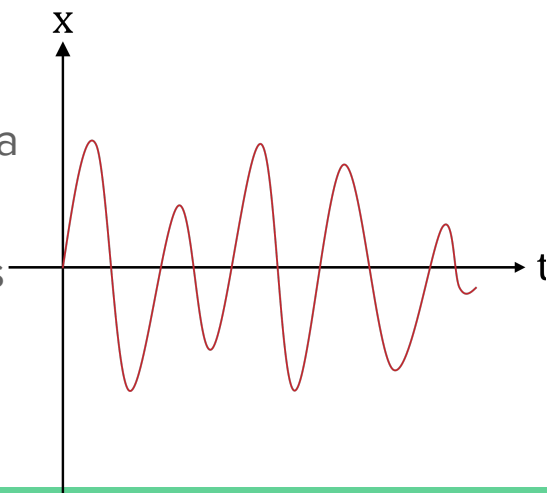
## International Morse Code

1. The length of a dot is one unit.
2. A dash is three units.
3. The space between parts of the same letter is one unit.
4. The space between letters is three units.
5. The space between words is seven units.



# Transmissão em redes sem fio

- A comunicação, desde seus primórdios, consiste no envio de sinais de um ponto A para um ponto B
  - Ok. Nós nos comunicamos falando também...
- De fato, sinais podem ser vistos em formato de **onda**
- Dois tipos de sinais:
  - Analógicos
    - Variação contínua
  - Digitais
    - Valores discretos



# Transmissão em redes sem fio

Ondas?

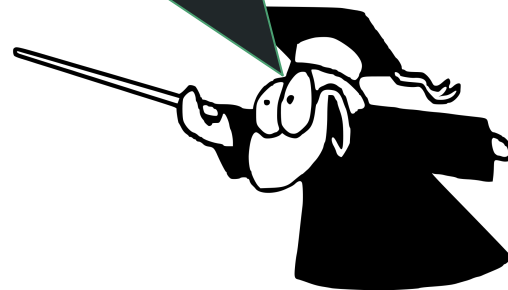


# Transmissão em redes sem fio

TCHAKABUM - ONDA ONDA (OLHA A ONDA)



Não!



# Transmissão em redes sem fio

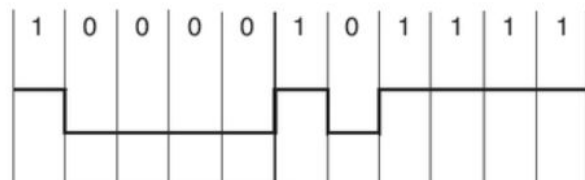
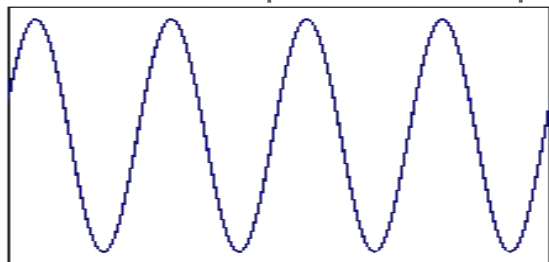
- Ondas
  - Quando jogamos uma pedra em um lago, geramos ondas
  - Quando falamos, geramos ondas
- Como funciona a transmissão da voz por um microfone até a caixa de som?



# Transmissão em redes sem fio

- Ondas

- Definição informal: As ondas são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia.
- Ondas podem ser mecânicas ou **eletromagnéticas**
  - Mecânicas: precisam de um meio para se propagar. Ex.: água
  - Eletromagnéticas: não necessitam de um meio. Ex.: rádio e luz
- Ondas podem ser periódicas ou não periódicas



Não há um período específico de repetição

# Transmissão em redes sem fio

- O que nós queremos é transmitir sinais através de ondas eletromagnéticas!
- Antes de seguirmos, quais são as propriedades (características) das ondas (periódicas)?
  - Conceitos individuais em 5 min, discussão em 5 min



# Propriedades das ondas

- Antes de seguirmos, quais são as propriedades (características) das ondas (periódicas)?
  - Amplitude, período, frequência, fase, velocidade, comprimento, potência
- Suponha que uma variação de sinal entre +5 volt e -5 volt é observada a cada 2 segundos.
  - Poderíamos assumir uma variação digital  $\Rightarrow 1, -1, 1, -1, 1$
  - Poderíamos assumir uma variação analógica  $\Rightarrow$  uma senóide em função de  $t$

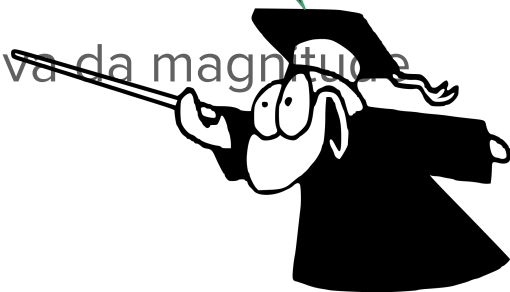
# Propriedades das ondas

- **Frequência ( $f$ ):** é um termo empregado na Física para indicar a repetição de qualquer fenômeno em um período de tempo (frequência é o número de oscilações em um segundo).
  - No caso das ondas, oscilações por segundo
  - Medida em *Hertz* ( $Hz$ ) =  $1\text{ Hz} = 1/\text{s} = 1\text{ s}^{-1}$
- **Período ( $T$ ):** Tempo  $t$  que o sinal leva para completar um ciclo. Inverso da frequência.  $T = 1/F$
- **Amplitude ( $A$ ):** é uma medida escalar não negativa da magnitude de oscilação uma onda, expressa em *Volts*.

# Propriedades das ondas

- **Frequência ( $f$ ):** é um termo empírico para a repetição de qualquer fenômeno em um determinado intervalo de tempo (frequência é o número de oscilações em um segundo)
  - No caso das ondas, oscilações por segundo
  - Medida em *Hertz* ( $Hz$ ) =  $1\text{ Hz} = 1/s = 1\text{ s}^{-1}$
- **Período ( $T$ ):** Tempo  $t$  que o sinal leva para completar um ciclo. Inverso da frequência.  $T = 1/F$
- **Amplitude ( $A$ ):** é uma medida escalar não negativa da magnitude de oscilação uma onda, expressa em *Volts*.

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \text{sen}(x)$



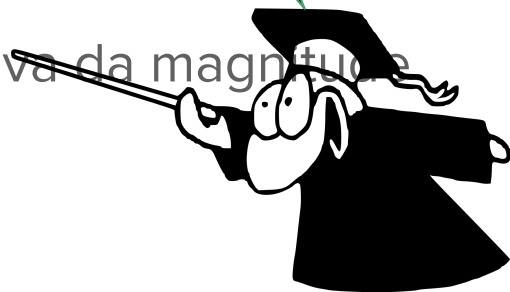
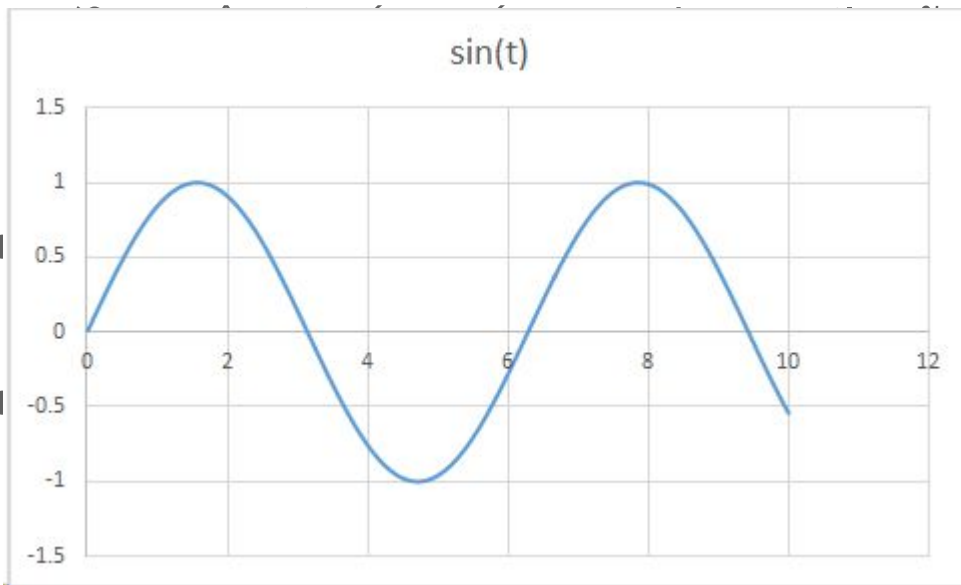
# Propriedades das ondas

- **Frequência ( $f$ ):** é um termo empírico para a repetição de qualquer fenômeno em

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \sin(x)$

es em um segundo  
segundo  
 $s^{-1}$   
para completar um ciclo.

r não negativa da magnitude  
Volts.



# Propriedades das ondas

- **Frequência**

O que acontece  
quando dobramos a  
frequência?

- No caso das ondas, oscilações por segundo
- Medida em *Hertz* ( $\text{Hz}$ ) =  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s} = 1 \text{ s}^{-1}$

- **Período (T):** Tempo  $t$  que o sinal leva para completar um ciclo.  
Inverso da frequência.  $T = 1/F$

- **Amplitude (A):** é uma medida escalar não negativa da magnitude de oscilação uma onda, expressa em *Volts*.

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \sin(x)$



# Propriedades das ondas

- **Frequência**

re  
(freq  
o. No caso de

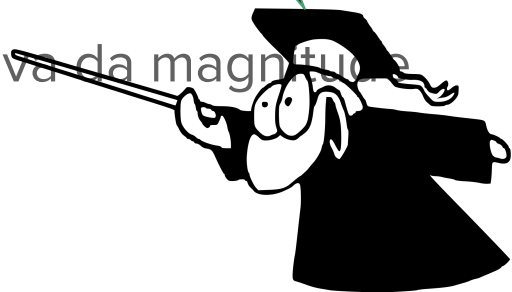
O que acontece  
quando dobramos a  
frequência?

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \sin(x)$



ações em um segundo  
segundo  
 $/s = 1 s^{-1}$   
leva para completar um ciclo.

scalar não negativa da magnitude  
a em *Volts*.



# Propriedades das ondas

- **Frequência**

O que acontece quando dividimos a frequência por 2?

- No caso das ondas, oscilações por segundo
- Medida em *Hertz* ( $\text{Hz}$ ) =  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s} = 1 \text{ s}^{-1}$

- **Período (T):** Tempo  $t$  que o sinal leva para completar um ciclo. Inverso da frequência.  $T = 1/F$

- **Amplitude (A):** é uma medida escalar não negativa da magnitude de oscilação uma onda, expressa em *Volts*.

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \sin(x)$



# Propriedades das ondas

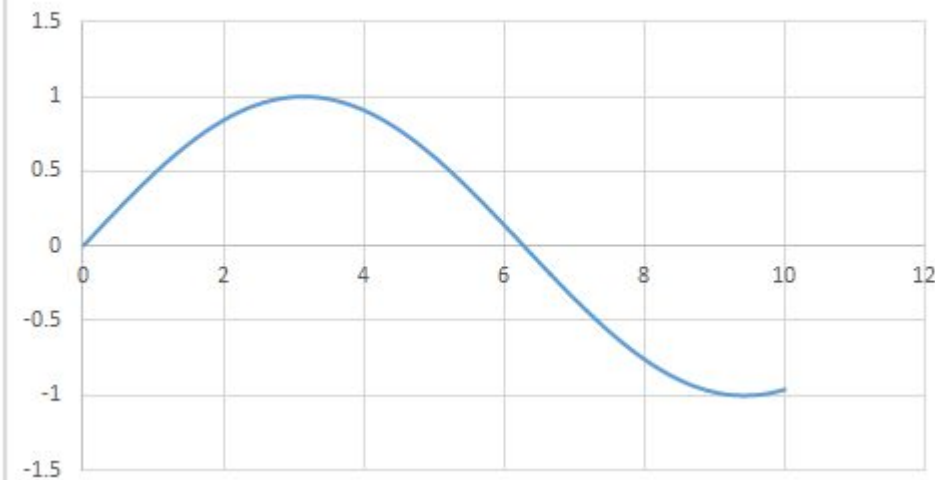
- Frequência

re  
(freq

O que acontece  
quando dividimos a  
frequência por 2?

No caso das oscilações

$\sin(t/2)$



plotar no excel:

```
x = [1: 0.01: 10]
```

```
f = sen(x)
```

ações em um seg

segundo

/s = 1 s<sup>-1</sup>

leva para completar um ciclo.

scalar não negativa da magnitude

sa em *Volts*.





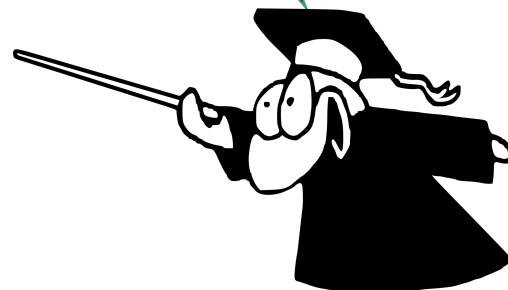
# Propriedades das ondas

- **Fase ( $\phi$ )**: a posição da forma da onda em relação à zero.
  - Medido em graus, radianos
  - Ela desloca a onda

# Propriedades das ondas

- **Fase ( $\phi$ )**: a posição da forma da onda
  - Medido em graus, radianos
  - Ela desloca a onda

plotar no excel:  
 $x = [1: 0.01: 10]$   
 $f = \text{sen}(x + 2)$



# Propriedades das ondas

- **Fase ( $\phi$ )**: a posição da forma da onda em relação à zero.
  - Medido em graus, radianos
  - Ela desloca a onda
- De fato, uma onda periódica é dada por:
  - $g(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$ 
    - Multiplicamos por  $2\pi$  para simplificar a visualização do eixo x
  - Assim,  $\phi$  é definido por uma relação de  $\pi$ :
    - $+\pi + \pi/2 + 3\pi/2$

# Propriedades das ondas

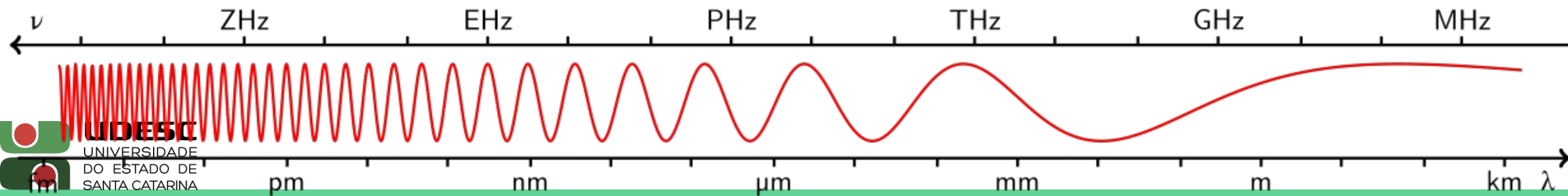
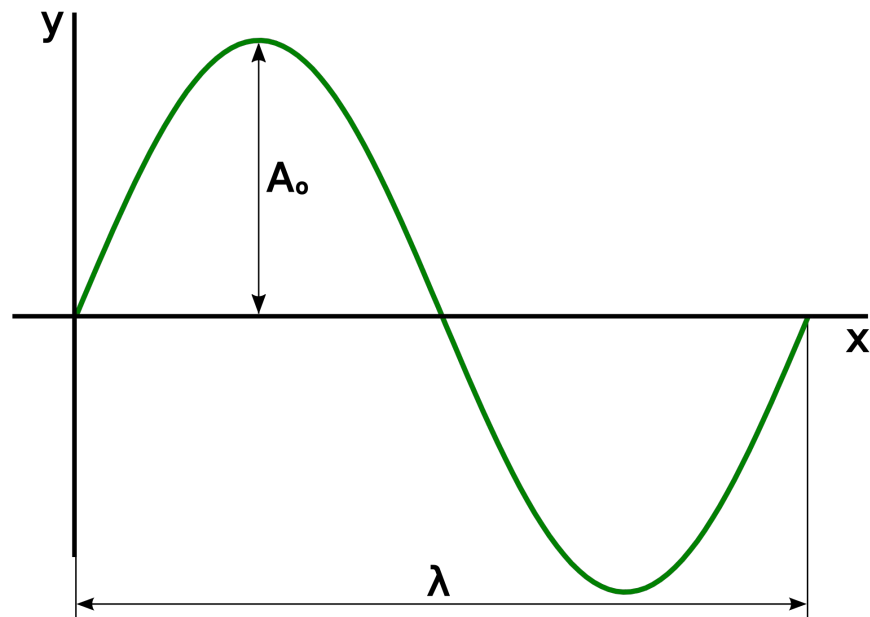
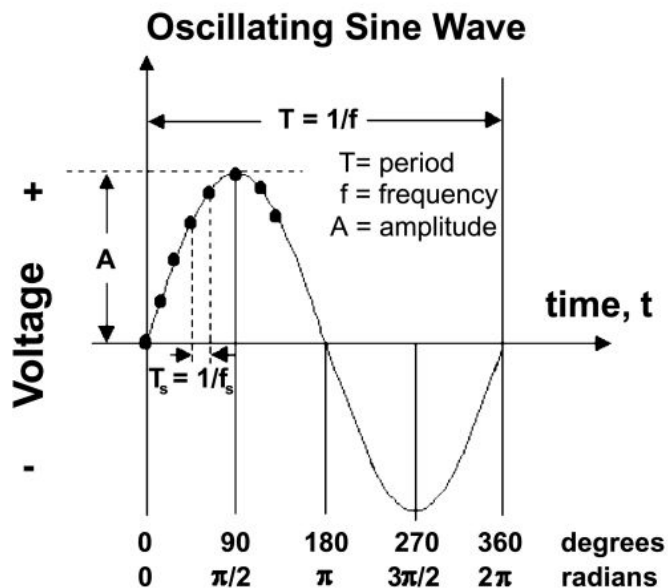
- **Velocidade:** A velocidade  $v$  de transmissão de uma onda depende do meio onde está inserida, e da frequência da onda
  - Em geral, ondas eletromagnéticas se propagam na velocidade da luz:  $3 \times 10^8$  m/s, portanto,  $c$
- **Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** O comprimento de onda basicamente mede a distância que um sinal consegue percorrer em um período
  - $\lambda = c \times \text{período} = c / f$
  - Exemplo:
    - Qual é o comprimento das seguintes ondas no ar:
      - 2.4GHz
      - 104.3 MHz

# Propriedades das ondas

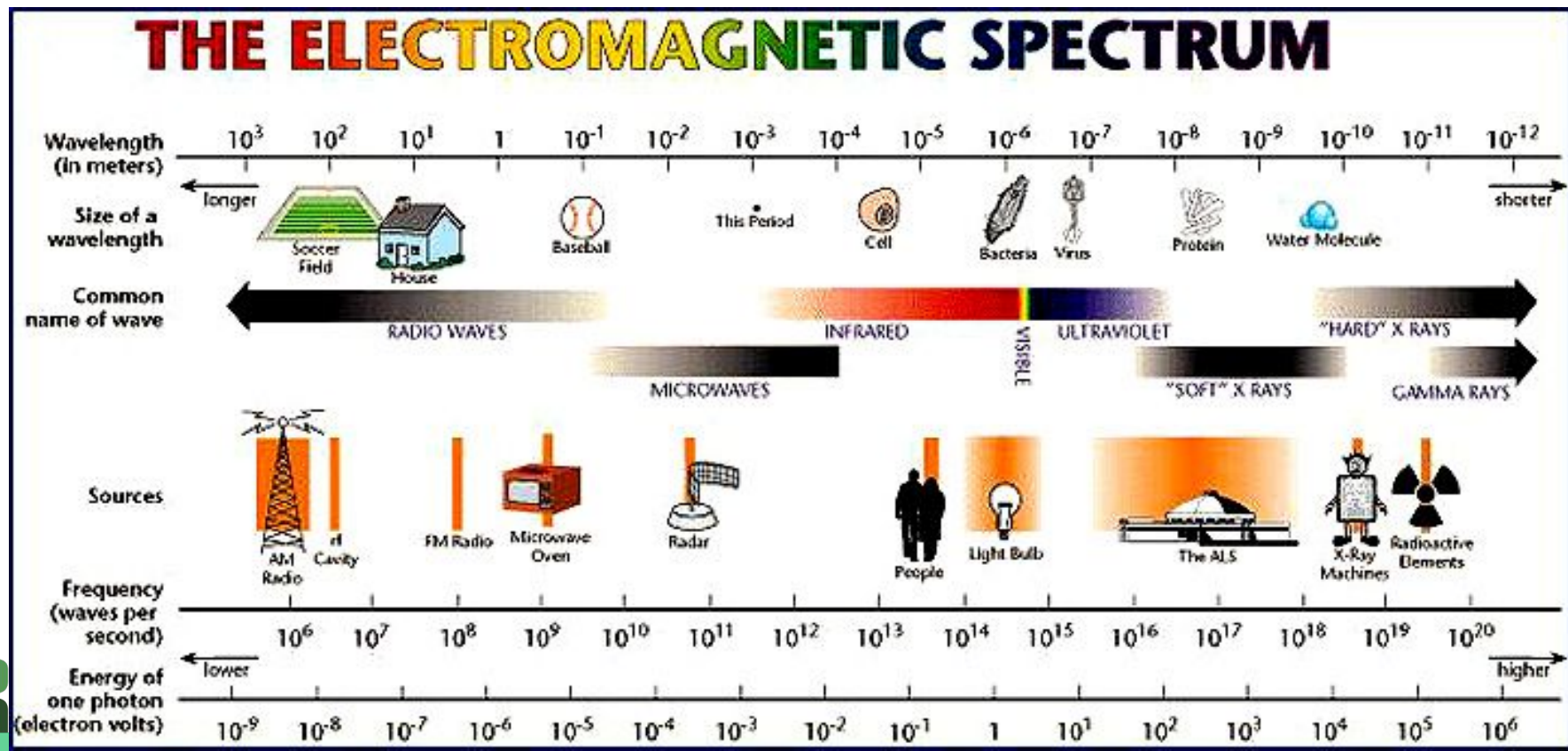
- **Velocidade:** A velocidade  $v$  de transmissão de uma onda depende do meio onde está inserida, e da frequência da onda
  - Em geral, ondas eletromagnéticas se propagam na velocidade da luz:  $3 \times 10^8$  m/s, portanto,  $c$
- **Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** O comprimento de onda basicamente mede a distância que um sinal consegue percorrer em um período
  - $\lambda = c \times \text{período} = c / f$
  - Exemplo:
    - Qual é o comprimento das seguintes ondas no ar:
      - 2.4GHz = 12.5 cm
      - 104.3 MHz = 2.87 m

Isto ajuda a definir o tamanho da antena

# Resumindo



# Resumindo



# Propriedades das ondas

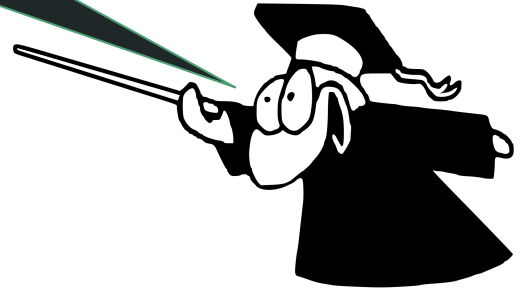
- Como as propriedades impactam na transmissão:
  - Ondas de mais alta frequência
    - penetram objetos
    - não são refletidas na ionosfera
  - Ondas de baixa frequência
    - desviam objetos
    - refletidas na ionosfera



# Transmissão de dados

Mas efetivamente, como os dados são transmitidos?

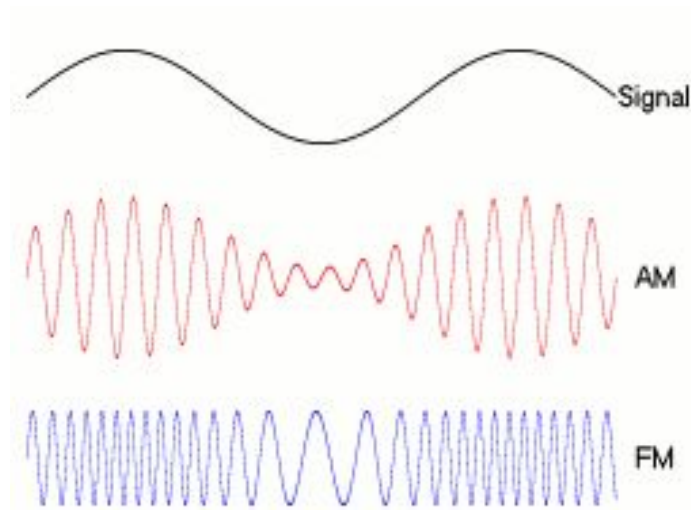
Alguém é capaz de  
dizer?



# Transmissão de dados

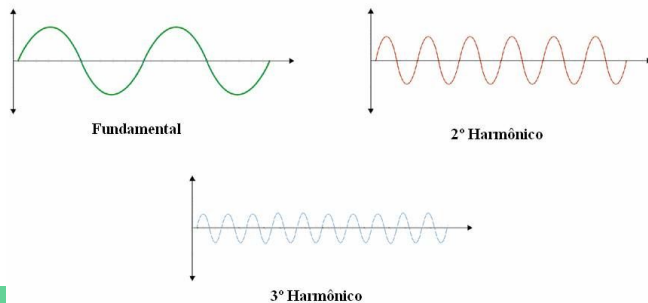
Mas efetivamente, como os dados são transmitidos?

- Pela variação das propriedades
  - Exemplo comum: frequência, amplitude
- Modulação
  - O sinal é modulado dentro de uma onda
  - Modulação por frequência (FM):
    - Amplitude fixa, variação da frequência
  - Modulação por amplitude (AM):
    - Frequência fixa, variação da amplitude



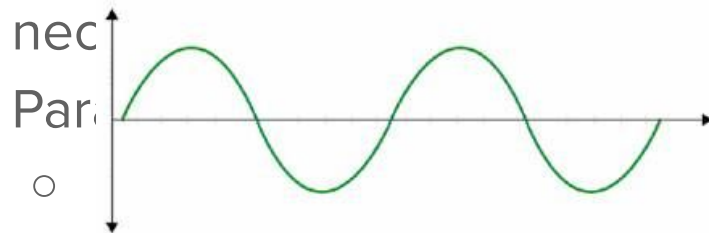
# Propriedades das ondas

- Para fazer a transmissão de dados via ondas eletromagnéticas, é necessário fazer a análise de sinais nas ondas
- Para isso, vamos precisar conhecer mais uma propriedade
  - **Harmônicas:** são frequências (componentes), obtidas através da multiplicação do sinal original (frequência fundamental)
  - Uma onda senoidal é um múltiplo inteiro da frequência da onda. Por exemplo, se a frequência é  $f$ , as harmônicas possuem as frequências  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$ , etc.
  - Também pode variar amplitude e fase

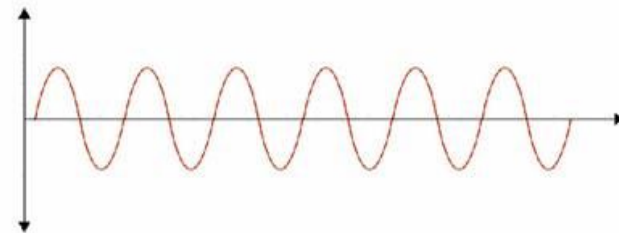


# Propriedades das ondas

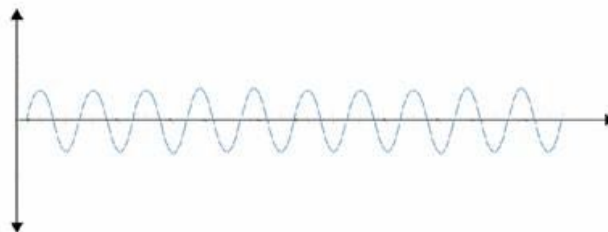
- Para fazer a transmissão de dados via ondas eletromagnéticas, é



Fundamental



2º Harmônico



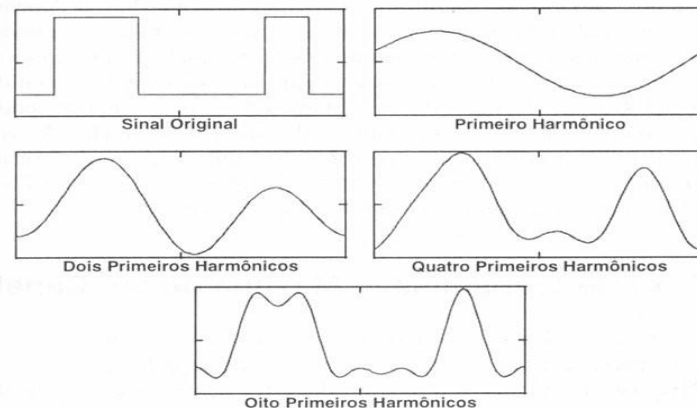
3º Harmônico

da

a. Por  
ências

# Análise de sinais

- A transmissão de sinais não é bonitinha em uma onda só
- Na verdade há uma composição de sinais nas ondas
  - É preciso separar  $\Rightarrow$  Análise de Fourier
  - Sinal resultante da transmissão de 01100010 através de linhas com banda passante variando de 0 a "W" Hz



# Análise de sinais

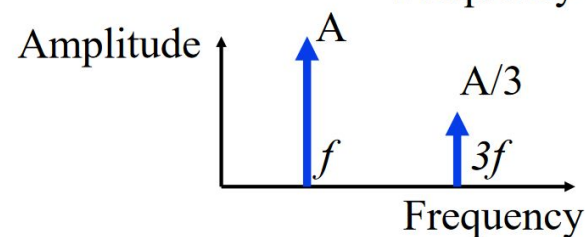
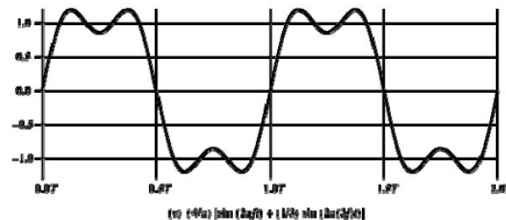
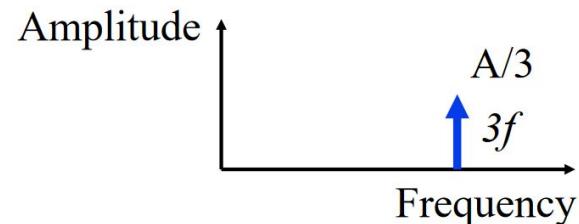
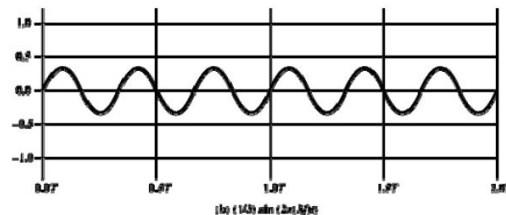
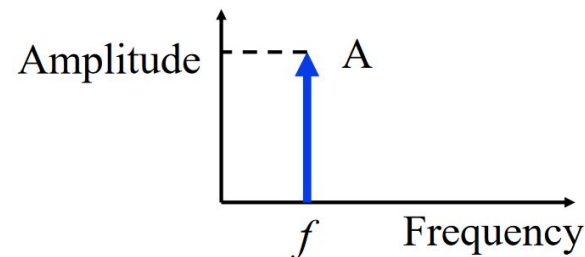
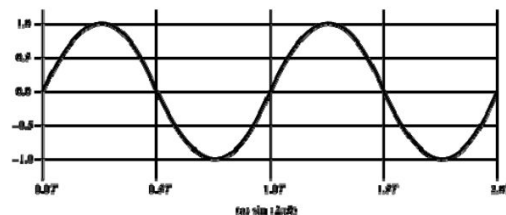
- No século XIX Fourier provou que qualquer sinal periódico expresso como uma função do tempo  $g(t)$ , com período  $T_0$ , pode ser considerado como uma soma de senos e cosenos de diversas frequências
- Um sinal  $g(t)$  descrito por um sinal de frequência fundamental
- Sinais nas outras frequências denominados componentes ou harmônicos
- Este sinal pode ser representado de duas formas equivalentes:
  - Domínio no Tempo
  - Domínio de Frequência

$$(f = \frac{1}{T_0})$$

# Análise de sinais

- Domínio de tempo vs domínio de frequência
- Exemplo prático

aqui



# Taxa de transmissão

- Nenhum meio de transmissão é capaz de transmitir sinais sem que haja perdas de energia durante o processo
  - Perdas de energia significam reduções na amplitude de sinais componentes
- Se todos os sinais componentes fossem igualmente reduzidos em amplitude, o sinal resultante seria todo reduzido em amplitude, mas não distorcido
- Infelizmente, a característica dos meios de transmissão é a de provocar perdas nos diversos componentes dos sinais em diferentes proporções



# Taxa de transmissão

- Nenhum meio de transmissão é capaz de transmitir sinais sem que haja perdas de amplitude
  - Perda de amplitude de sinais com o tempo
- Se todos os componentes do sinal são igualmente reduzidos em amplitude, o sinal não é distorcido em amplitude, mas não distorcido
- Infelizmente, a característica dos meios de transmissão é a de provocar perdas nos diversos componentes dos sinais em diferentes proporções

Quais são os fatores que afetam a qualidade do sinal?

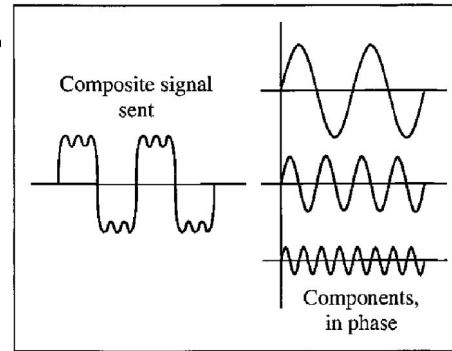
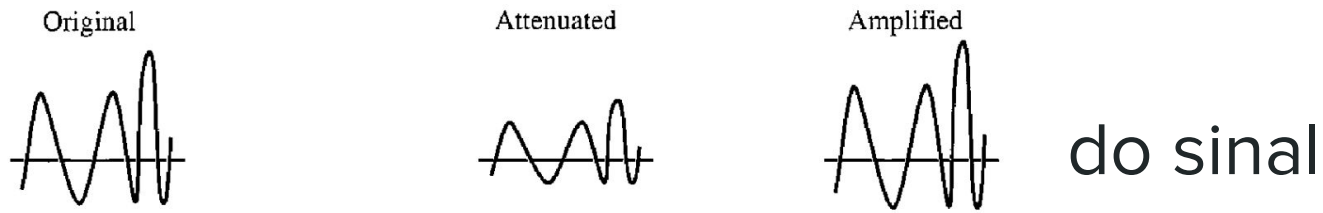


# Taxa de transmissão

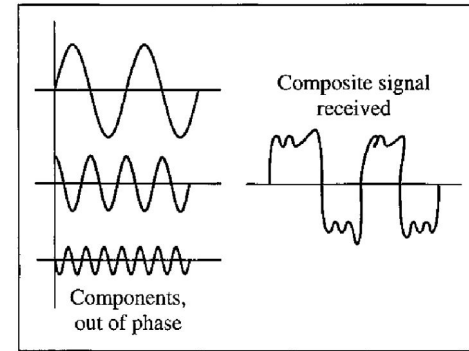
- Fatores que afetam a taxa de transmissão
  - **Atenuação:** Perda de energia. Quando um sinal, seja ele simples ou composto, trafega por um meio de transmissão, ele perde parte de sua energia para superar a resistência do meio. Para compensar essa perda, são usados *amplificadores* para o sinal.
    - Medida em decibéis
      - Potência de entrada: 10mW, Potência de saída: 5mW.
      - Atenuação:  $10 \log_{10} (10/5) = 10 \log_{10} (2) = 3\text{dB}$
  - **Distorção:** o sinal muda sua forma ou formato. A distorção pode ocorrer em um sinal composto formado por diversas frequências. Os componentes do sinal no receptor possuem **fases** diferentes daqueles que tinham no emissor. Portanto, o formato do sinal composto não é mais o mesmo.

# Taxa de transmissão

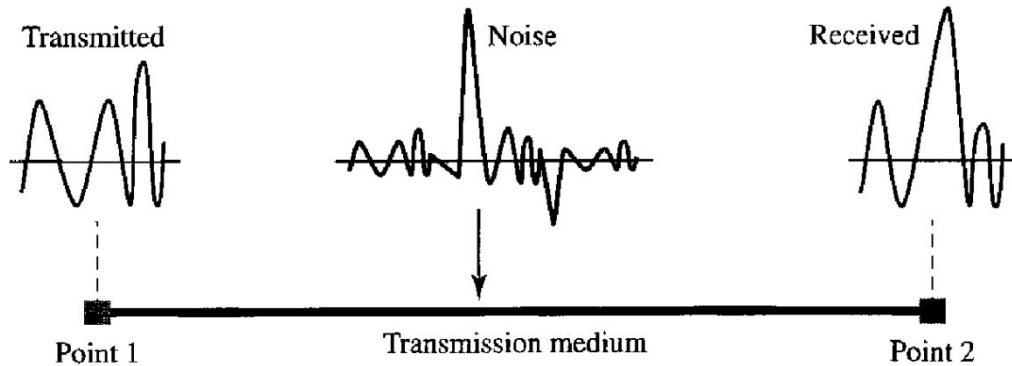
- Fatores que afetam a taxa de transmissão
  - **Ruído:** danos causados ao sinal. Existem vários tipos de ruídos:
    - térmico, induzidos, linha cruzada e de impulso que podem causar danos ao sinal.
  - O sinal recebido consiste no *sinal transmitido modificado* por várias distorções impostas pelas características do meio adicionadas de outras distorções inseridas durante a transmissão devido à *interferência* de sinais indesejáveis (ruídos).
  - **Quantidade de ruído:** é dado pela razão entre a potência do sinal "S" e a potência do ruído R
    - $SNR = S/R$
    - $SNR_{db} = 10 \log_{10} SNR$



At the sender



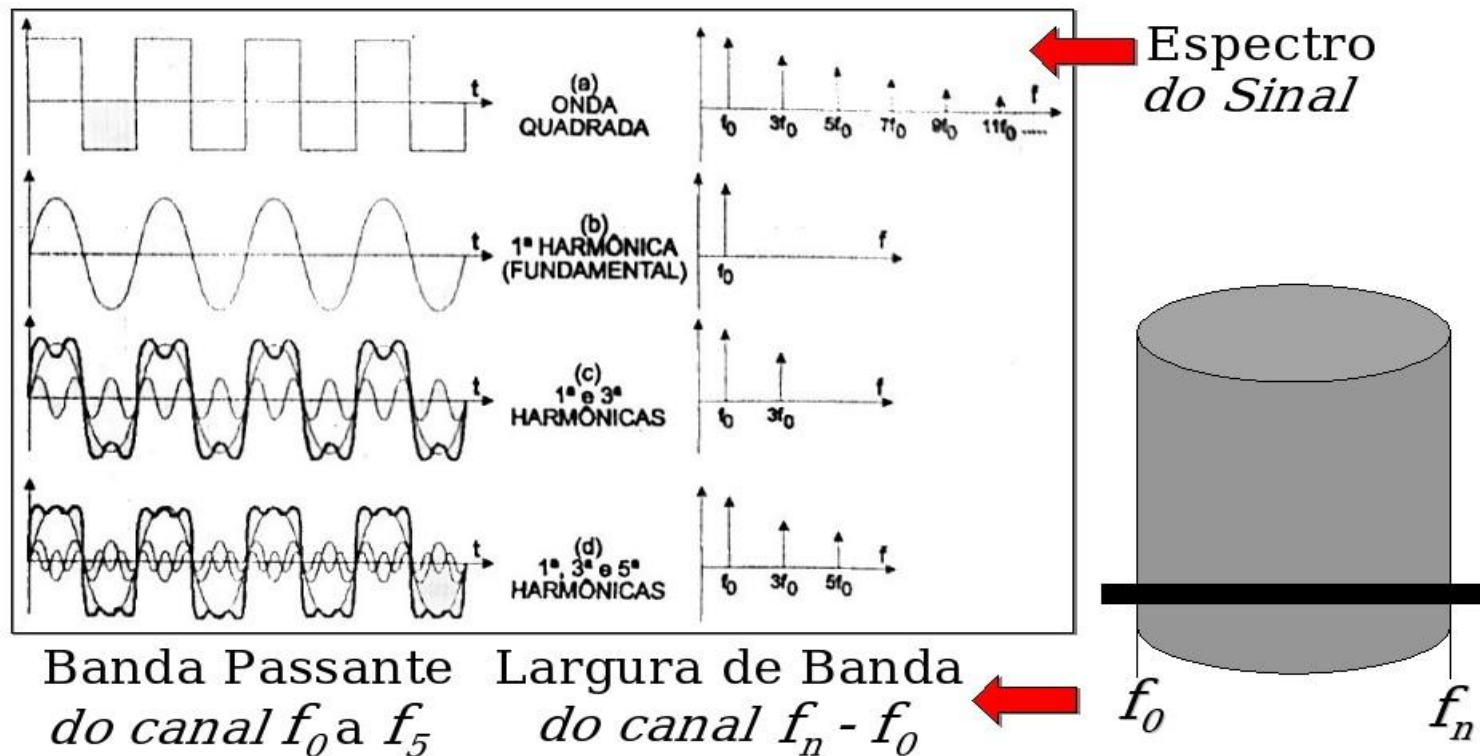
At the receiver



# Capacidade de transmissão

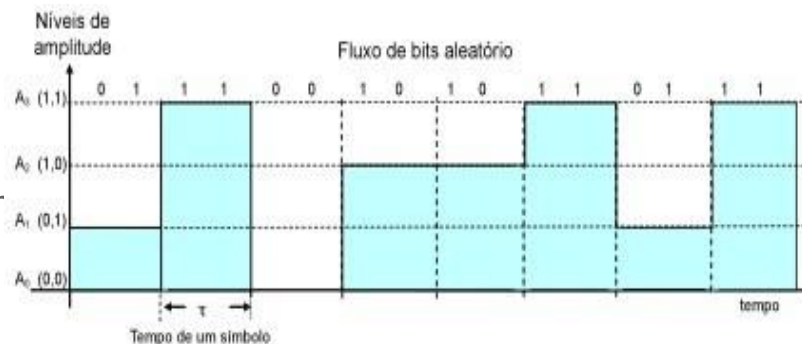
- **Canal:** Em comunicação, canal designa o meio usado para transportar uma mensagem do emissor ao receptor.
- O cálculo da capacidade (**C**) de um canal deve considerar parâmetros físicos:
  - **Banda passante (B) ou bandwidth, ou largura de banda**, em Hz: conjunto contínuo de valores de frequência (limites) que podem ser assumidos por um sinal elétrico pertencente a um canal.
  - **Ruídos (N)**, expressos através da relação sinal/ruído (SNR)

# Capacidade de transmissão



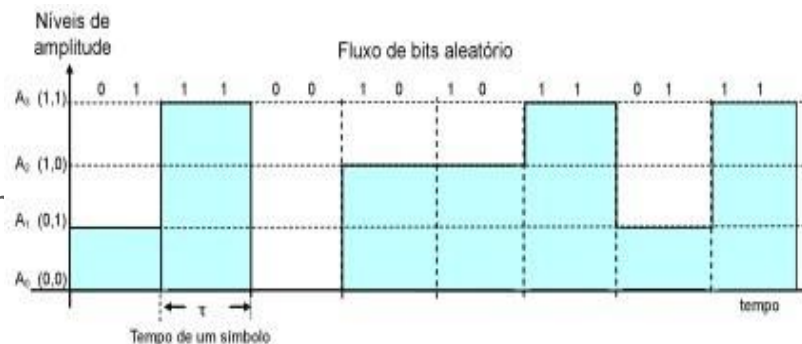
# Capacidade de transmissão

- Dois teoremas podem ser utilizados para calcular a capacidade de transmissão (bps) em um canal
  - Nyquist:** assume a ausência de ruído
    - $C = 2B \cdot \log_2 M$ 
      - $C \rightarrow$  capacidade de transmissão em
      - $B \rightarrow$  largura de banda em Hz
      - $M \rightarrow$  número de níveis de sinais
  - Shannon:** considera a existência de ruído
    - $C = B \cdot \log_2 (1 + \text{SNR}) = B \cdot \log_2 (1 + S/R)$



# Capacidade de transmissão

- Dois teoremas podem ser utilizados para calcular a capacidade de transmissão (bps) em um canal
  - Nyquist:** assume a ausência de ruído
    - $C = 2B \cdot \log_2 M$ 
      - $C \rightarrow$  capacidade de transmissão em
      - $B \rightarrow$  largura de banda em Hz
      - $M \rightarrow$  número de níveis de sinais
  - Shannon:** considera a existência de ruído
    - $C = B \cdot \log_2 (1 + \text{SNR}) = B \cdot \log_2 (1 + S/R)$



SNR é medido em decibéis, então:  
 $\text{SNR}_{\text{db}} = 10 \log_{10} \text{SNR}$



# Capacidade de transmissão

- Exemplo
  - Considere que o espectro de transmissão de um sinal está entre 3 MHz e 5MHz. O SNR em decibéis medido para o meio é de 30 dB. Qual é a capacidade de transmissão em bps?

# Capacidade de transmissão

- Exemplo

- Considere que o espectro de transmissão de um sinal está entre 3 MHz e 5MHz. O SNR em decibéis medido para o meio é de 30 dB. Qual é a capacidade de transmissão em bps?

- $B = 5 - 3 = 2 \text{ MHz}$

- $\text{SNR}_{\text{db}} = 30 \text{ dB}$

- $30 = 10 \log_{10} \text{SNR}$

- $3 = \log_{10} \text{SNR}$

- $10^3 = \text{SNR}$

- $C = B \cdot \log_2 (1 + \text{SNR})$

- $C = 2 \log_2 (1001)$

**$C = 2 \text{ MHz} \times 9.967 = 19.934 \text{ Mbps}$**

SNR é medido em decibéis, então:  
 $\text{SNR}_{\text{db}} = 10 \log_{10} \text{SNR}$

$$\log_2(1001) = \frac{\log_{10}(1001)}{\log_{10}(2)}$$

# Exercício

1. Crie um gráfico que calcule a capacidade do canal, usando o teorema de Shannon considerando as seguintes larguras de banda (eixo Y):
  - 3 MHz
  - 10 MHz
  - 20 MHz
  - Sendo que no eixo (X) deverão ser consideradas as seguintes SNR: (5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB e 50 dB)
  - Obs.: Faça a interpretação do gráfico, descrevendo o que está sendo representado no mesmo.

## Links úteis adicionais

[https://www.youtube.com/watch?v=Cc\\_Y2uP-Fag](https://www.youtube.com/watch?v=Cc_Y2uP-Fag)

<https://www.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-signals>

<https://www.youtube.com/watch?v=ancDN11C2vg>