Teoria das Comunicações

2.1 Sinais

Sinais e Sistemas

- **Sinais** são processados por **Sistemas**

- Sinal
  - Uma informação que é função da variável tempo $x(t)$
  - Pode ser representado como um campo elétrico variante no tempo

- Sistemas
  - Um sistema processa um ou mais sinais de entrada e fornece um ou mais sinais de saída
  - Pode ser um equipamento físico, um meio de transmissão ou um algoritmo de software, ou uma combinação de vários elementos

Energia de um sinal

- Medida do “tamanho” do sinal

- Para sinais reais

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt$$

- Para sinais complexos

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$$

Potência de um sinal

- Outra possível medida do sinal

- Para sinais reais

$$P_x = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt$$

- Para sinais complexos

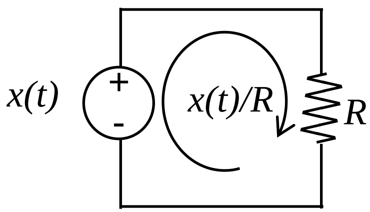
$$P_x = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} | x(t) |^2 \, dt$$

Raiz quadrática média

- rms (root mean square)
- Valor rms de um sinal $x(t) = \sqrt{P_x(t)}$

Conceito de Energia

- Energia do sinal não representa energia “física”, pois esta depende da carga



$$\text{Energia dissipada} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2(t)}{R}\, dt = \frac{E_x}{R}$$

- Pode ser interpretada como a energia dissipada em um resistor de 1Ω por uma tensão $x(t)$

- Energia do sinal E_x representa seu potencial de geração de energia

- Utilizado por exemplo para comparação entre sinais

Energia x Potência

- Sinais com energia finita têm potência nula

- Sinais com potência não nula têm energia infinita
  - De uma maneira geral um sinal tem uma potência finita e não nula se ele for periódico ou tiver uma regularidade estatística

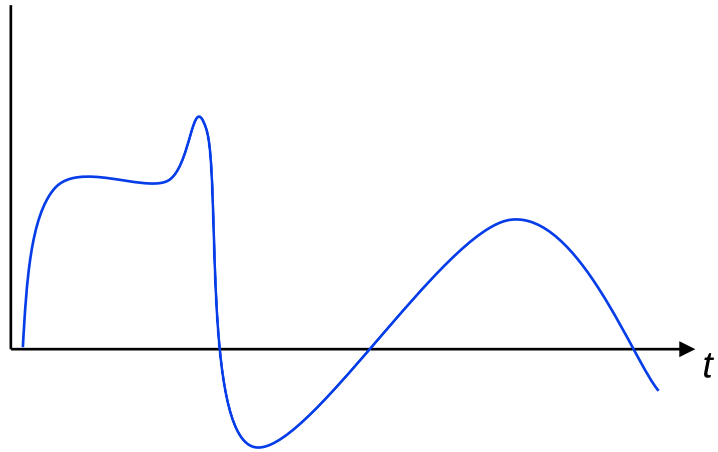
- Alguns sinais podem ter energia e potência infinitas
  - Não têm importância prática

Classificação de Sinais

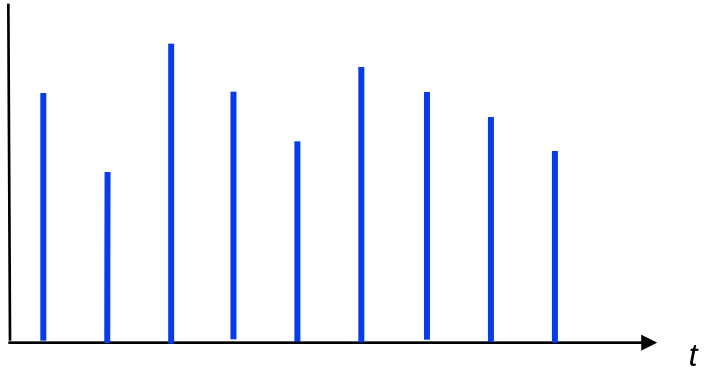
- Os sinais podem ser classificados em diversas categorias:
  - Tempo contínuo x Tempo Discreto
  - Analógicos x Digitais
  - Periódicos x não periódicos
  - Sinais de energia x Sinais de Potência
  - Determinísticos x Aleatórios

Sinais em tempo contínuo x Tempo Discreto

- **Sinais em tempo contínuo** são especificados para todos os valores reais de *t*
- Exemplos:
  - Sinal de voz
  - Tamanho da torcida do Flamengo
  - Temperatura em BSB
  - Etc…



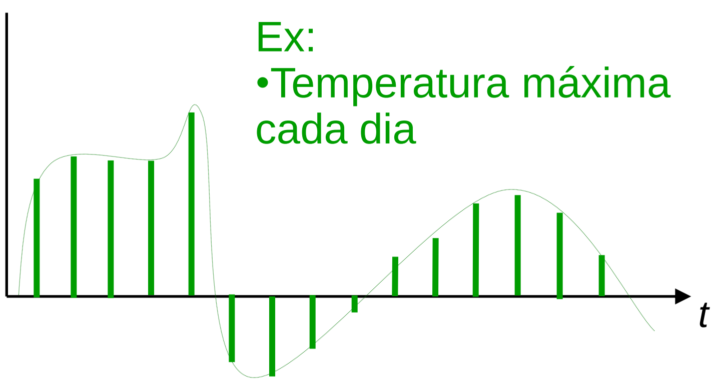
- **Sinais em tempo discreto** são especificados apenas em alguns valores discretos de *t*
- Exemplos
  - Gols do Flamengo por jogo
  - Temperatura máxima a cada dia
  - etc



Sinais Analógicos x Digitais

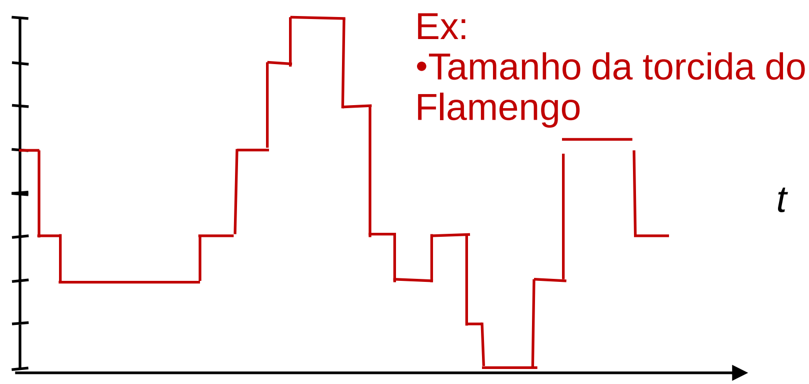
- **Sinais analógicos** podem assumir qualquer valor em um intervalo contínuo

Sinal analógico em tempo contínuo

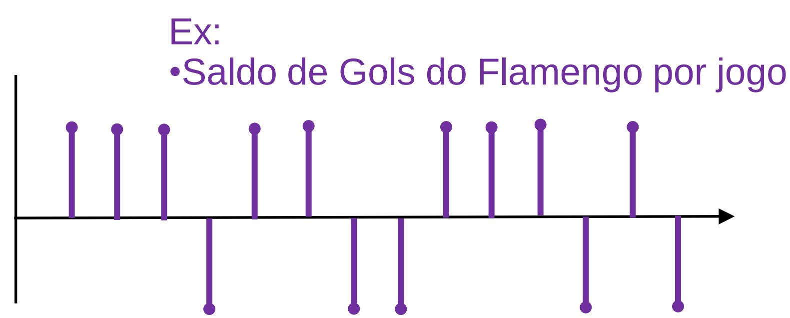


Sinal analógico em tempo discreto

- **Sinais digitais** podem assumir apenas um número finito de valores em um alfabeto



Sinal digital em tempo contínuo

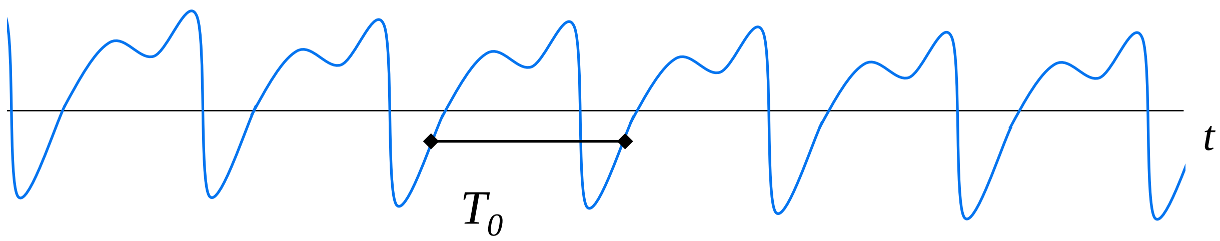


Sinal digital em tempo discreto

Sinais Periódicos x não Periódicos

- Um sinal $x(t)$ é chamado de **periódico** se existe uma constante positiva T_0 tal que

$$x(t) = x(t+T_0)$$



- O menor valor de T_0 que satisfaz a condição acima é o período do sinal

Características de Sinais Periódicos

- Um sinal periódico com período T_0 também é periódico com período $NT_{0,}$, ou seja $x(t) = x(t+NT_0)$

- Um sinal periódico não é alterado quando deslocado por um período NT_0

- Um sinal periódico começa em $-\infty$ e continua até ∞

- Um sinal periódico $x(t)$ pode ser gerado pela repetição periódica de qualquer segmento de $x(t)$ com duração $NT_{0.}$

Sinais de Energia x Sinais de Potência

- Um **sinal de energia** é um sinal em que a energia é finita

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$$

- Um **sinal de potência** é um sinal em que a potência é não nula

$$0 < \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt < \infty$$

- Um sinal de energia tem potência igual a 0
- Um sinal de potência tem energia infinita

$\Rightarrow$ um sinal não pode ser de energia e de potência ao mesmo tempo !

- Existem sinais que não são nem de potência nem de energia
- Todos os sinais gerados na vida real são sinais de energia
  - Sinais de potência têm que ter duração infinita
- Sinais periódicos são sinais de potência

Sinais Determinísticos x Aleatórios

- O valor de um sinal determinístico $x(t)$ é conhecido exatamente para todos os valores de t

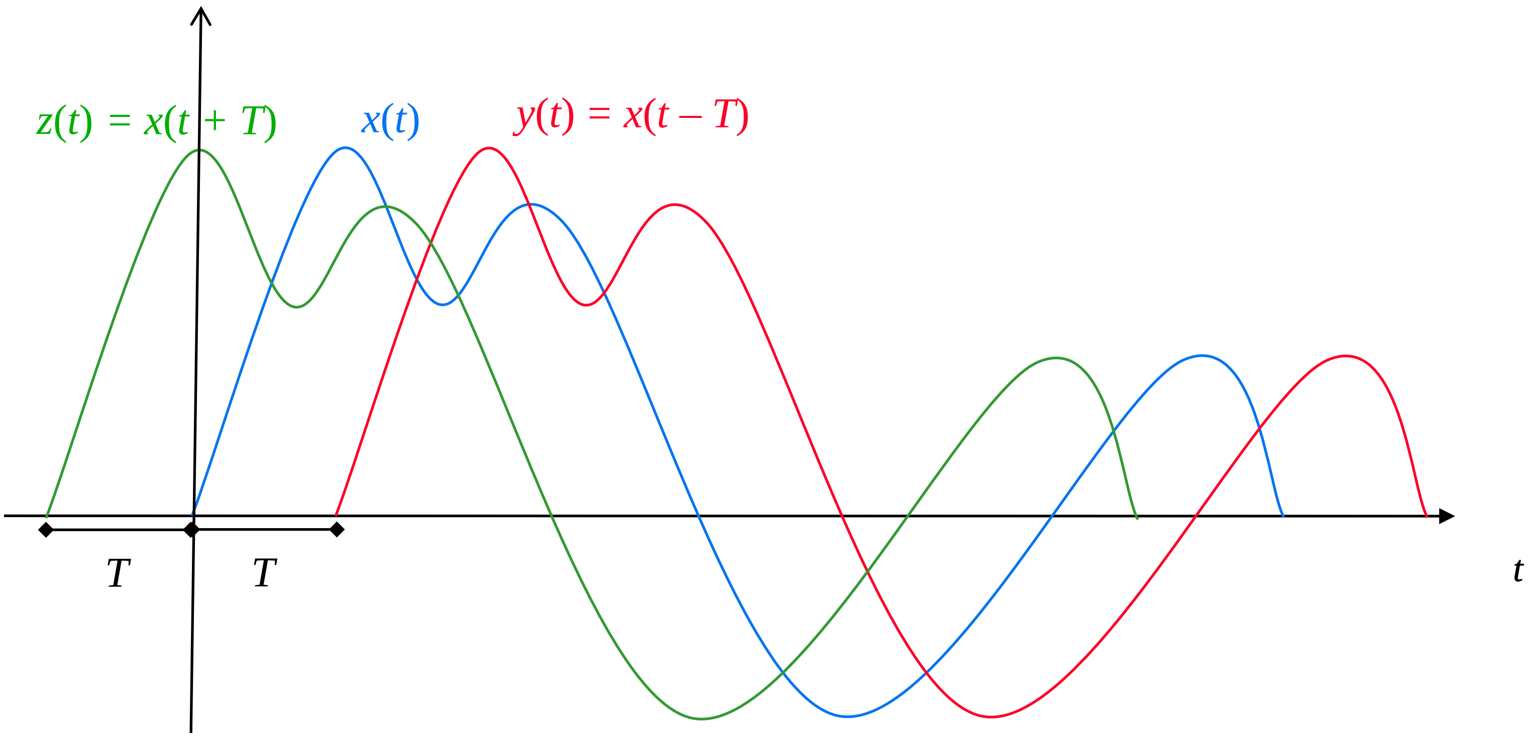
- O valor de um sinal aleatório $x(t)$ é descrito em termos de probabilidade

- A maior parte dos sinais de interesse são aleatórios
  - Sinais de ruído são sinais aleatórios
  - Sinais de mensagem são sinais aleatórios

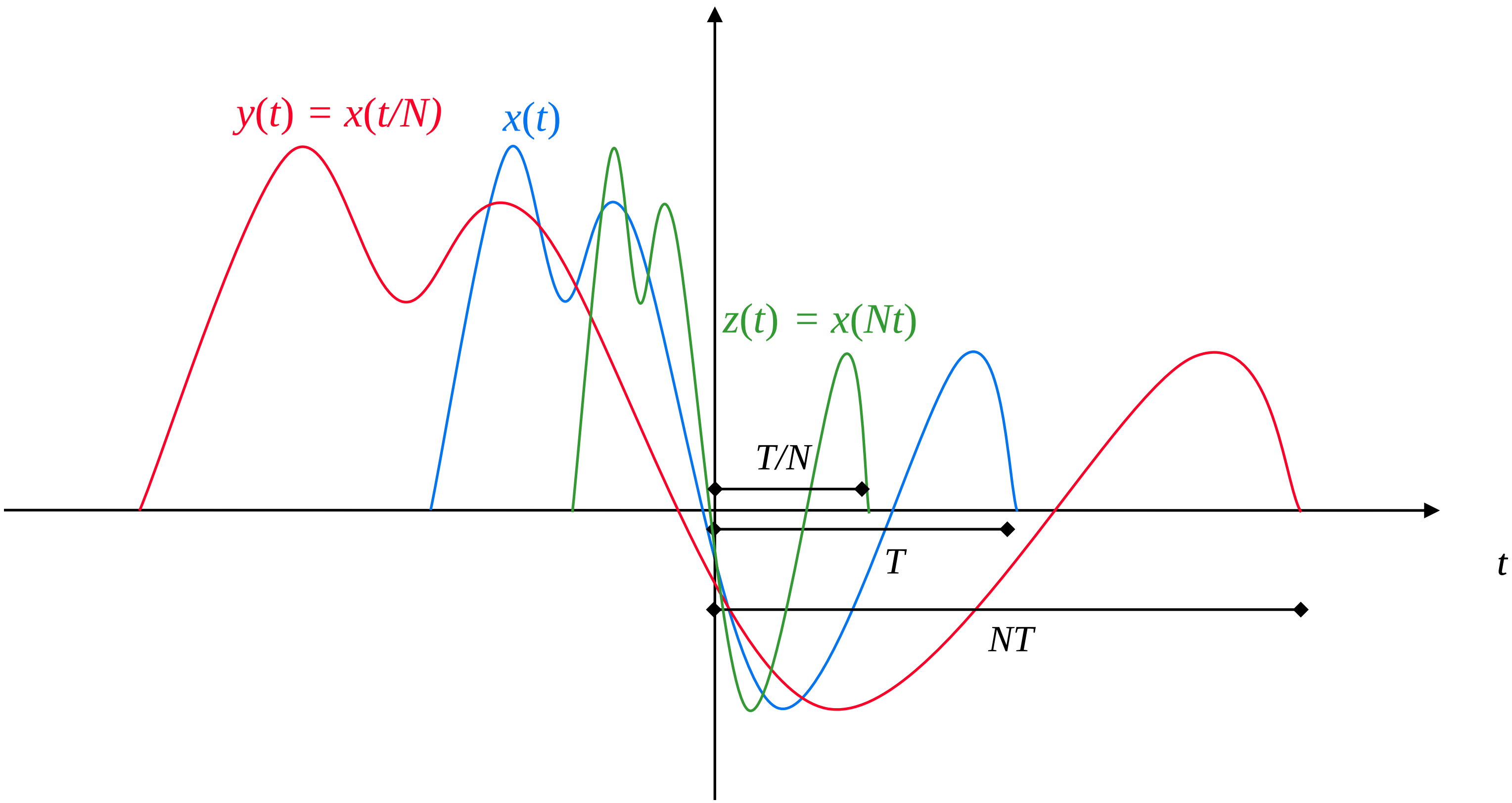
Operações em Sinais

- Deslocamento no tempo
- Compressão / Expansão no tempo
- Inversão no tempo

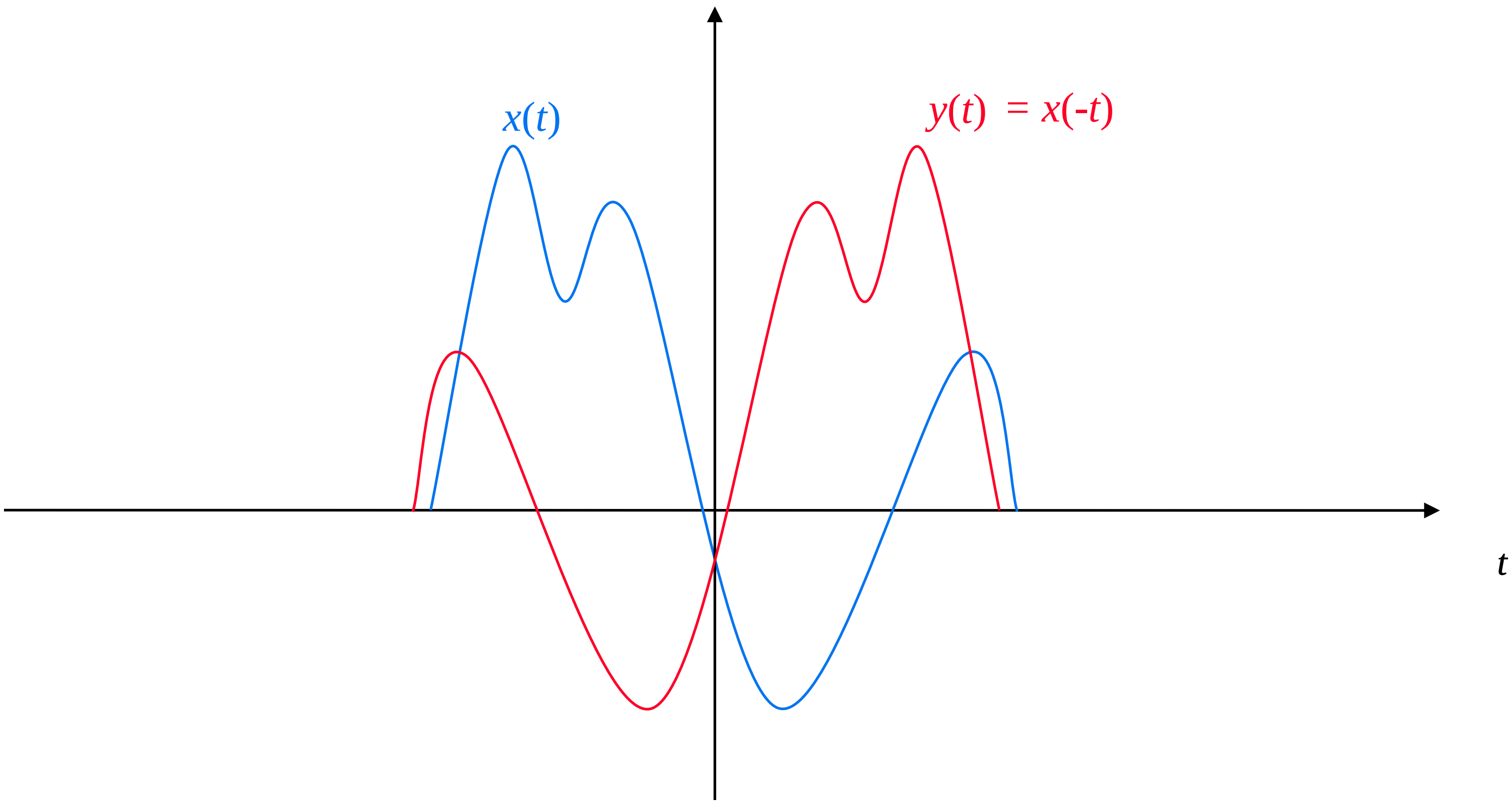
Deslocamento no Tempo



Compressão / Expansão no Tempo



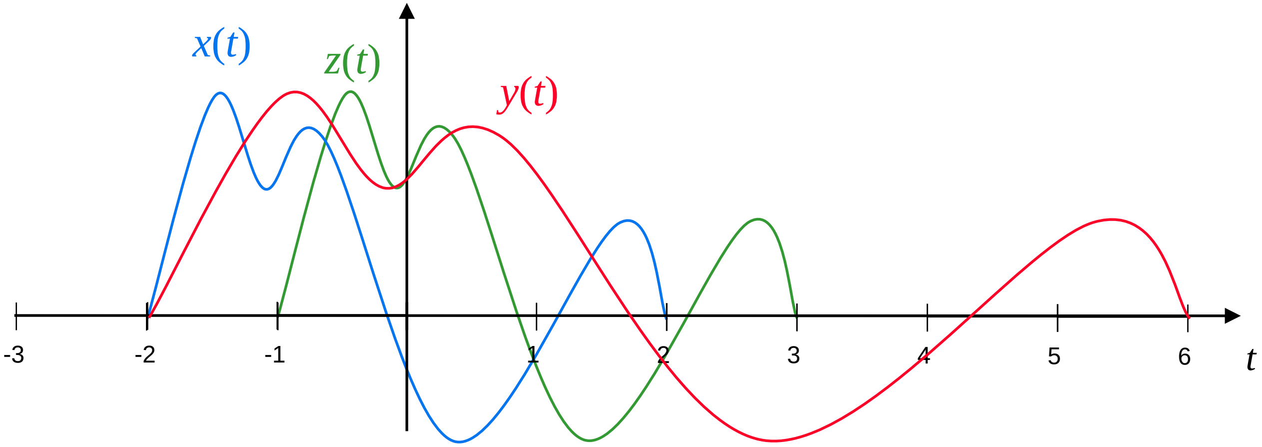
Inversão no Tempo



Combinação de Operações

- Ex: $y(t) = x(t/2 - 1)$

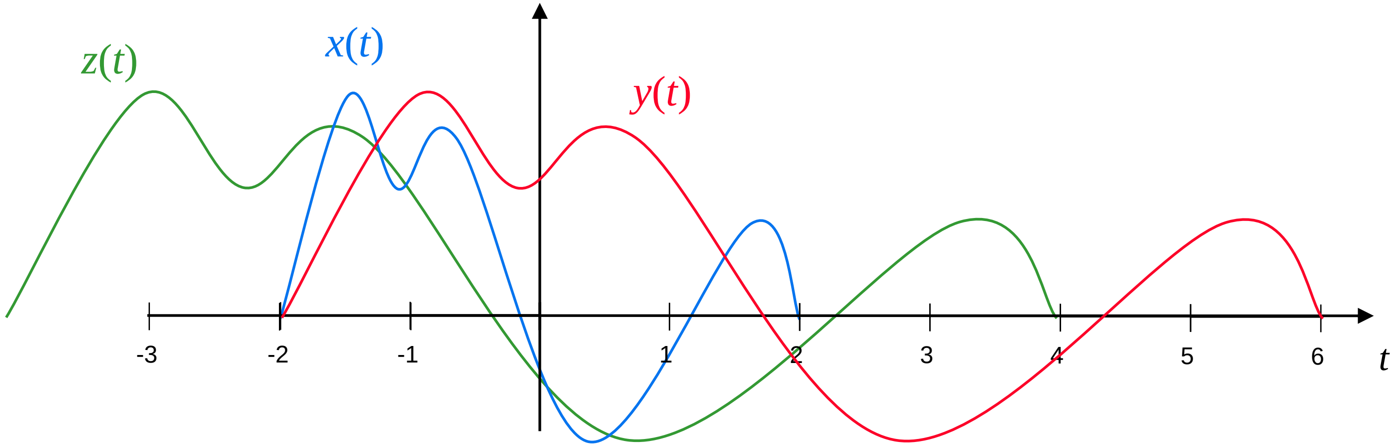
1. Criar sinal intermediário com deslocamento no tempo
   $z(t) = x(t - 1)$
2. Escalar sinal intermediário
   $y(t) = z(t/2) = x(t/2 - 1)$



Combinação de Operações

- Ex: $y(t) = x\left(\frac{t-2}{2}\right) = x(t/2-1)$

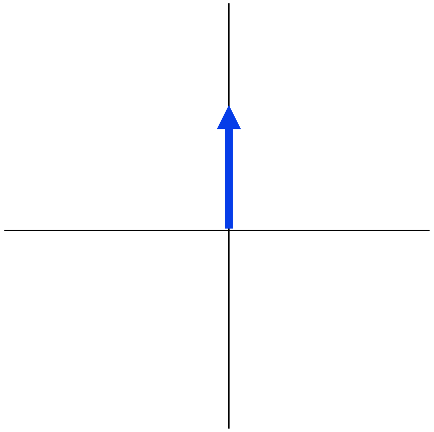
1. Criar sinal intermediário escalado
   $z(t) = x(t/2)$
2. Escalar sinal intermediário
   $y(t) = z(t-2)$



departamento de engenharia elétrica

Função Impulso

- $\delta(t)$ conhecida como ***delta de Dirac***
- $\delta(t) = 0$, para $t \neq 0$
- $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1$
- $\delta(t)$ é indefinido para $t = 0$
- Representação gráfica :



Propriedades da Função Impulso

- Multiplicação de uma função $x(t)$ por um impulso

$$x(t)\,\delta(t - T) = x(T)\,\delta(t - T)$$

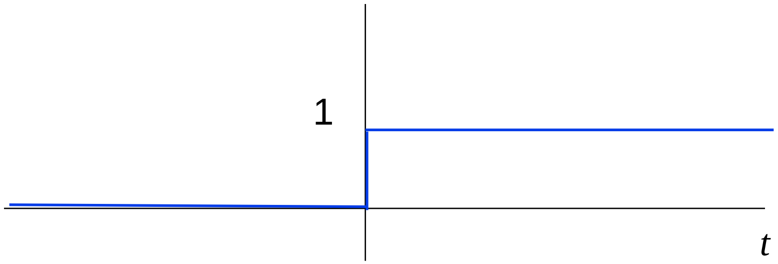
- Propriedade da Amostragem da Função Impulso

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\delta(t-T) = x(T)$$

  - Serve como definição da função impulso

Função Degrau

$$u(t) = \begin{cases} 0 & ,t < 0 \\ 1 & ,t \geq 0 \end{cases}$$



$$\frac{du(t)}{dt} = \delta(t)$$