



# Processamento Digital de Sinais

# Introdução $\Rightarrow$ PDS

⊛ O que é um sinal?

- Grandeza física que varia ao longo do tempo, espaço ou qualquer outra variável.

$\hookrightarrow$  Contém informação sobre uma quantidade em interesse.

## $\Rightarrow$ Tipos de Sinais

- sinal no tempo contínuo.  $\Rightarrow s(t)$

sinal no tempo discreto.  $\Rightarrow s[n]$

sinal quantizado em amplitude.

$\hookrightarrow$  Sinal Digital

## $\Rightarrow$ Tipos de Sistemas

- no tempo contínuo.  $\Rightarrow x(t) \rightarrow y(t)$

no tempo discreto.  $\Rightarrow x[n] \rightarrow y[n]$

$\hookrightarrow$  Entradas e saídas no mesmo domínio.

⊛ Foca no processamento digital de sinais.

$\hookrightarrow$  Vantagens desse processamento:

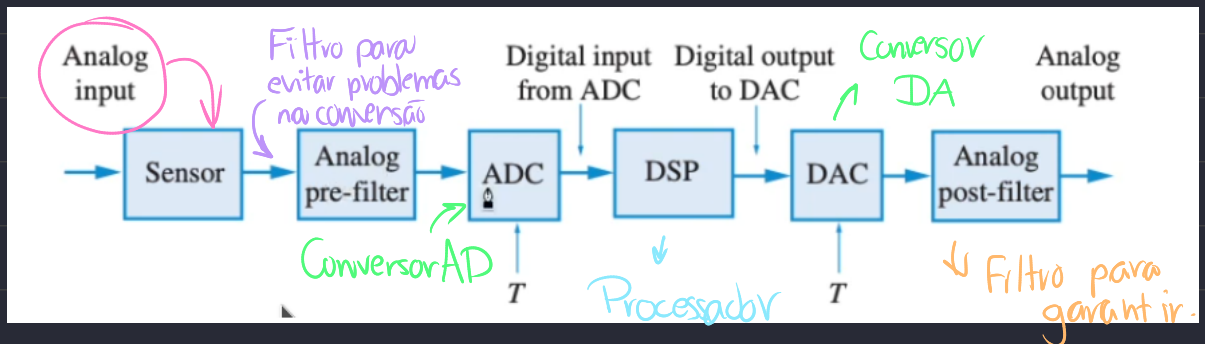
- Funções sofisticadas podem ser implementadas em dispositivos digitais de baixo custo.
- Digital é menos sensível e mais confiável.
- Compartilhamento de tempo entre processadores (multitarefa).

## Desvantagens:

Tentativa de aproximar um valor digital a um analógico.

- Conversões A/D e D/A (quase) sempre necessárias.
- Ruído de quantização.
- Banda larga baixa é ruim.

## ⇒ Etapas de PDS

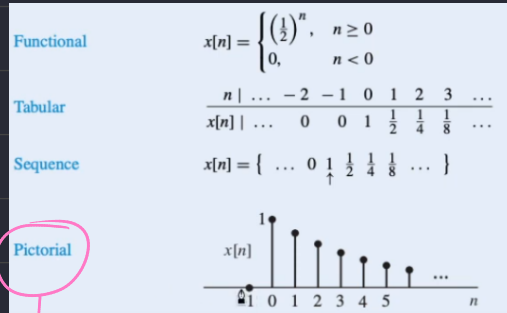


⊕ Armazena valores próximos ao digital.

# Sinais no Tempo Discreto

$x[n]$  → Variável é um inteiro.

↳ Listagem:



→ Principal no tempo discreto.

⊛  $\delta[n]$  é um impulso discreto e  $u[n]$  é um degrau unitário.

⊛ Sequência de duração finita:  
energia finita, porém potência zero.

• Energia

$$E_x = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2$$

• Potência

$$P_x = \lim_{L \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{2L+1} \sum_{n=-L}^L |x[n]|^2 \right]$$

• Senoide

$$A[n] = A \cos(\omega_0 n + \phi)$$

• Exponencial real

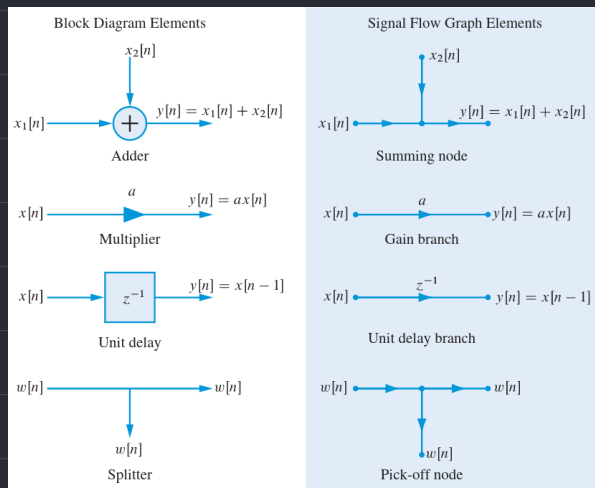
$$x[n] = A a^n$$

• Exponencial Complexa

$$x[n] = A e^{j\omega_0 n} = A \cos(\omega_0 n) + jA \sin(\omega_0 n)$$

# Sistemas no Tempo Discreto

⇒ Operações com Sinais



⇒ Soma de Convolução

- Seja uma sequência discreta decomposta em impulsos.

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] h[n-k]$$

↪ Variante no tempo

Aplicada à entrada de um sistema linear.  
LTI

↪ Resposta Impulso

- É um "histórico" de toda a função, podendo supor possíveis valores de saída.  
↪ teste definitivo

⊛ Função identidade é a  $\delta[n]$  (impulso  $n$ ).

⇒ Causalidade e estabilidade

causalidade:  $w[n] = 0, \quad n < 0$

↪ Saída atual não depende de valores de entrada.

estabilidade:  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h[n]| < \infty$

Soma de  
Convolação

↳ Caso a soma de todos os elementos seja menor que  $\infty$ , é estável.

fir: sistemas com resposta ao impulso finita.

↳ Sistema vai a zero por tempo finito.

Para saber que é,  
substituir a entrada  
pelo impulso e  
ver se continua  
 $\infty$ .

iir: sistemas com resposta ao impulso infinita.

↳ se mantém  $\neq 0$  por tempo indefinido.

Sistemas Recursivos

↳ Saída atual depende de saídas passadas.

ex: eco e reverberação.

# Senoides e Frequência Digital

- \*) Para obter uma senoide real a partir de duas complexas, somar uma com a sua **conjugada**.

⇒ Senoides no Tempo Discreto

↳ possuem duas frequências: **normalizada**  
**digital (angular)**

Quanto que cada amostra representa em um ciclo.

$F \rightarrow \text{freq.} \rightarrow \text{Hz}$

$F_s \rightarrow \text{freq. (amostras/seg)} \rightarrow \text{Hz}$

$f \rightarrow \text{freq. normalizada} \rightarrow f = \frac{F}{F_s}$

$\omega \rightarrow \text{freq. digital} \rightarrow \text{rad/amostra}$

- ▶  $F$ : Hz ou ciclos/segundo
- ▶  $F_s$ : Hz ou amostras/segundo
- ▶  $f = F/F_s$ : (ciclos/segundo)\*(segundo/amostras) = ciclos/amostra
- ▶  $\omega$ : radianos\*(ciclos/amostra) = radianos/amostra

Resumo:

Sinais no tempo contínuo	Sinais no tempo discreto
$\Omega = 2\pi F$	$\omega = 2\pi f$
$\frac{\text{radianos}}{\text{segundos}}$ Hz	$\frac{\text{radianos}}{\text{amostra}}$ $\frac{\text{ciclos}}{\text{amostra}}$
$\omega = \Omega T$ $f = F/F_s$ $\Rightarrow$	
$-\infty < \Omega < \infty$	$-\pi < \omega < \pi$
$-\infty < F < \infty$	$-\frac{1}{2} < f < \frac{1}{2}$

↳ Conversão p/ o tempo discreto.

Ex: senoides discretas.

$x[n] = \cos(\omega n)$ , p/  $\omega = 0 \rightarrow \text{cte}$

$\omega = \pi/10 \rightarrow \text{cossenoide normal.}$

↳ São necessarias 20 amostras para completar 1 ciclo.