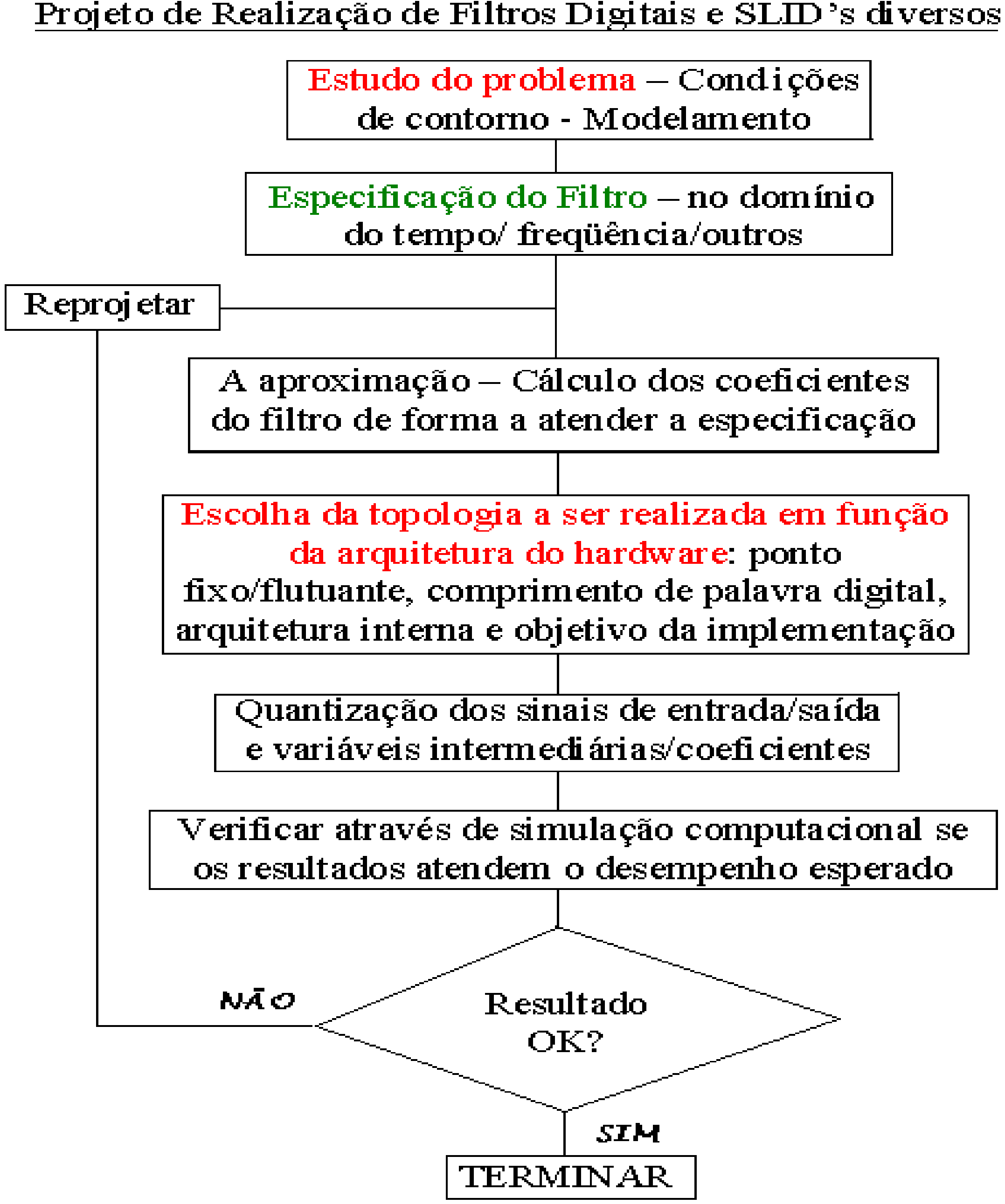
ESTRUTURAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS EM TEMPO DISCRETO

GPDS
Grupo de Processamento Digital de Sinais
Prof. F. Assis

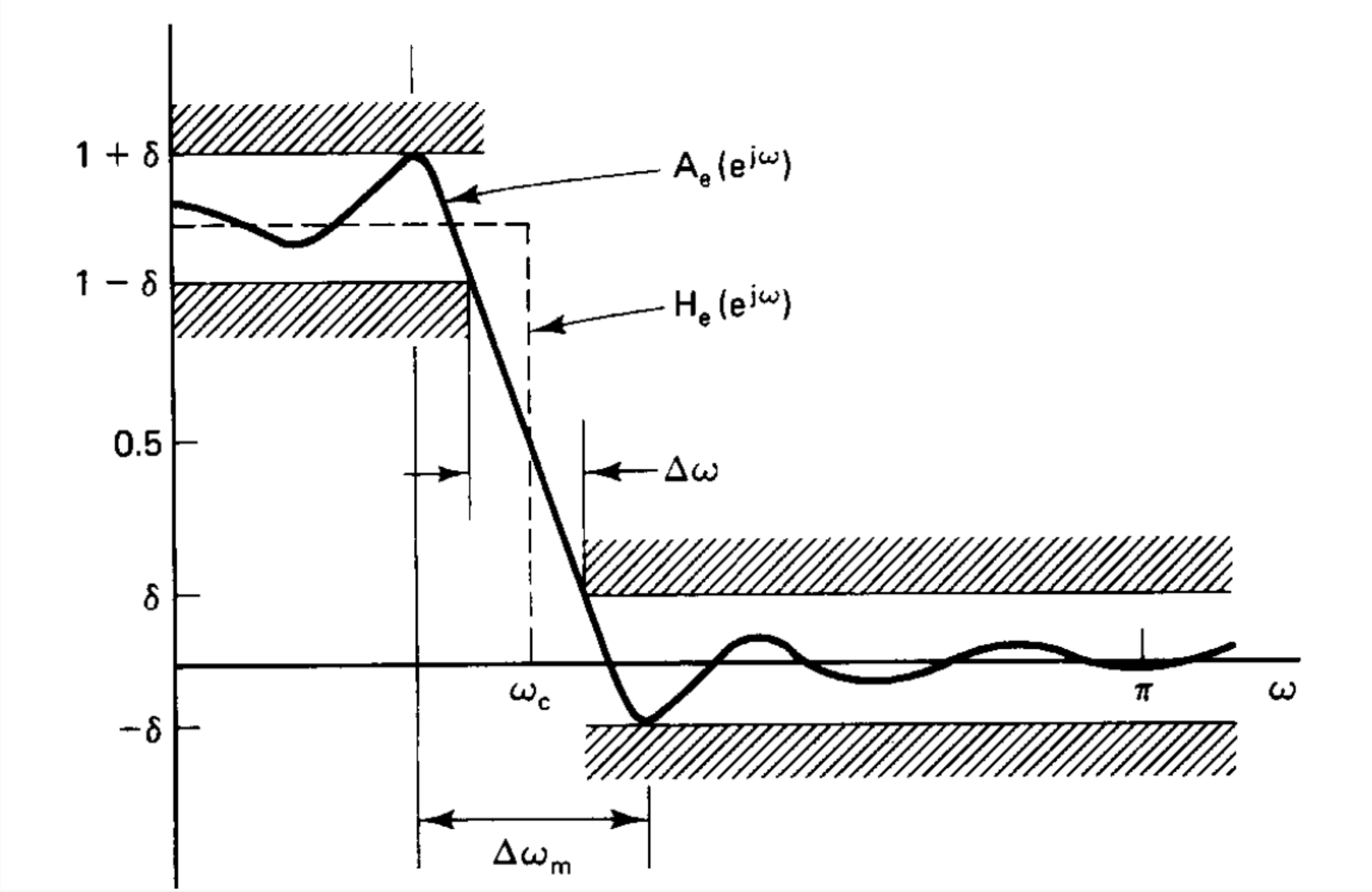
ESTUDO DO PROBLEMA

- Levantamento das condições de contorno;
- Modelamento matemático do problema;
- Especificação do filtro;
- Escolha da técnica do projeto a ser implementada com base nas especificações, requisitos de desempenho e condições técnicas de realização.

PROJETO DE SLIDS.

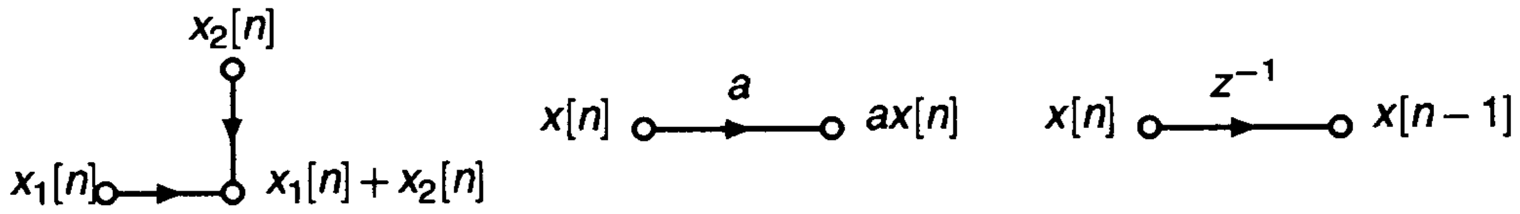


EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO DE RESPOSTA NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS



IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

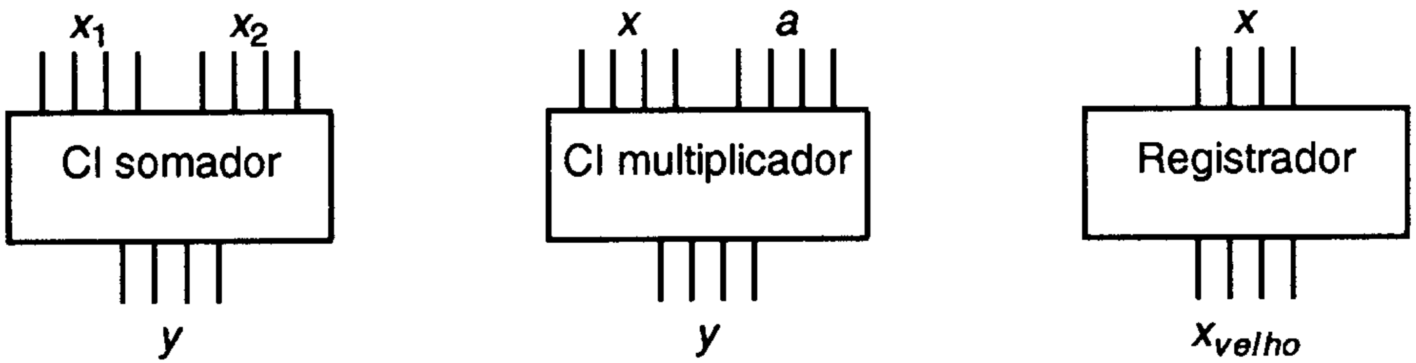
Elementos dos grafos:



Implementação em software (C):

```
y = x1 + x2;        y = a * x;        x_velho = x; x = ...
```

Implementação em hardware:



ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Forma direta I: Avaliando no domínio das frequências.
- Fazendo $a_0 = 1$ na função de transferência do SLID, temos

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \cdots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \cdots + a_N z^{-N}} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- **Forma direta I**: O SLID pode ser visualizado por uma cascata de dois sistemas

$$H(z) = \frac{\sum_{r=0}^{M} b_r\, z^{-r}}{1 + \sum_{k=1}^{N} a_k z^{-k}}$$

$$= \left(\sum_{r=0}^{M} b_r\, z^{-r}\right)\left(\frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{N} a_k z^{-k}}\right) = N(z)\,\frac{1}{D(z)}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- **Forma direta I**: Avaliando no domínio do tempo.
- Tomando a transformada z inversa de H(z)

$$y[n] = \sum_{r=0}^{M} b_r x[n-r] - \sum_{k=1}^{N} a_k y[n-k]$$

- Fazendo:

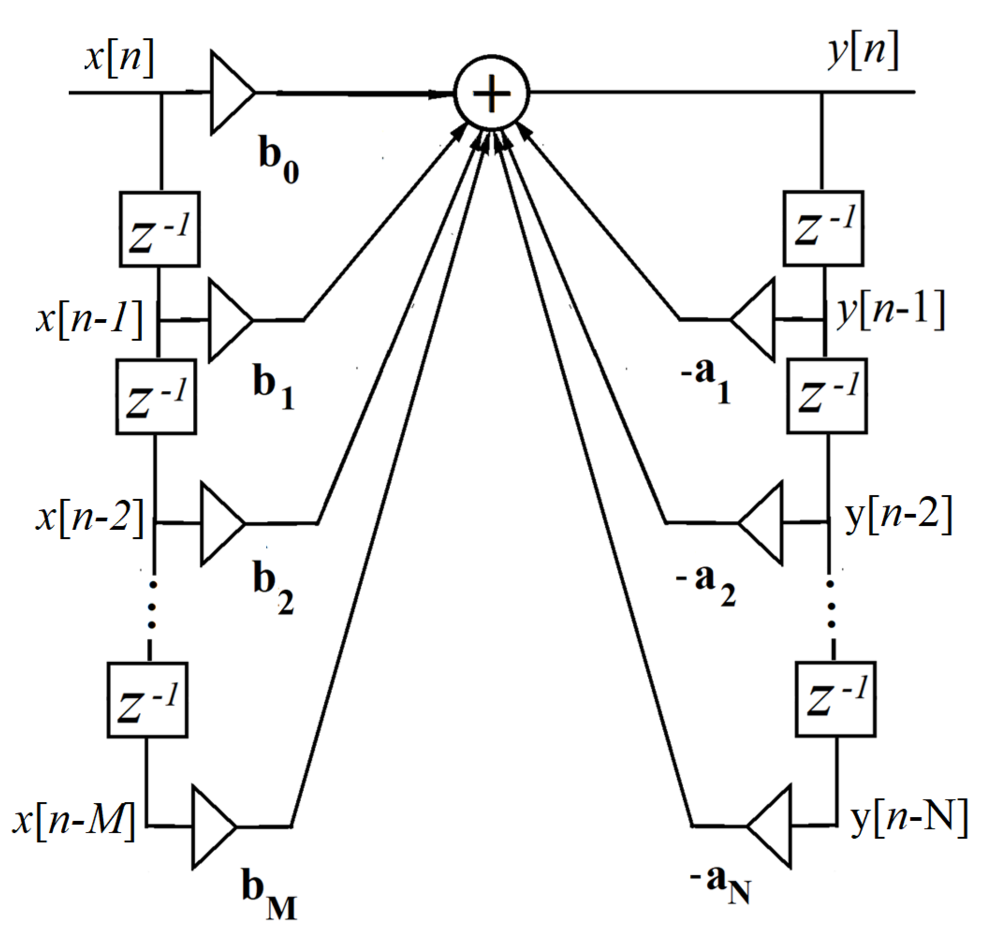
$$v[n] = \sum_{r=0}^{M} b_r x[n-r]$$

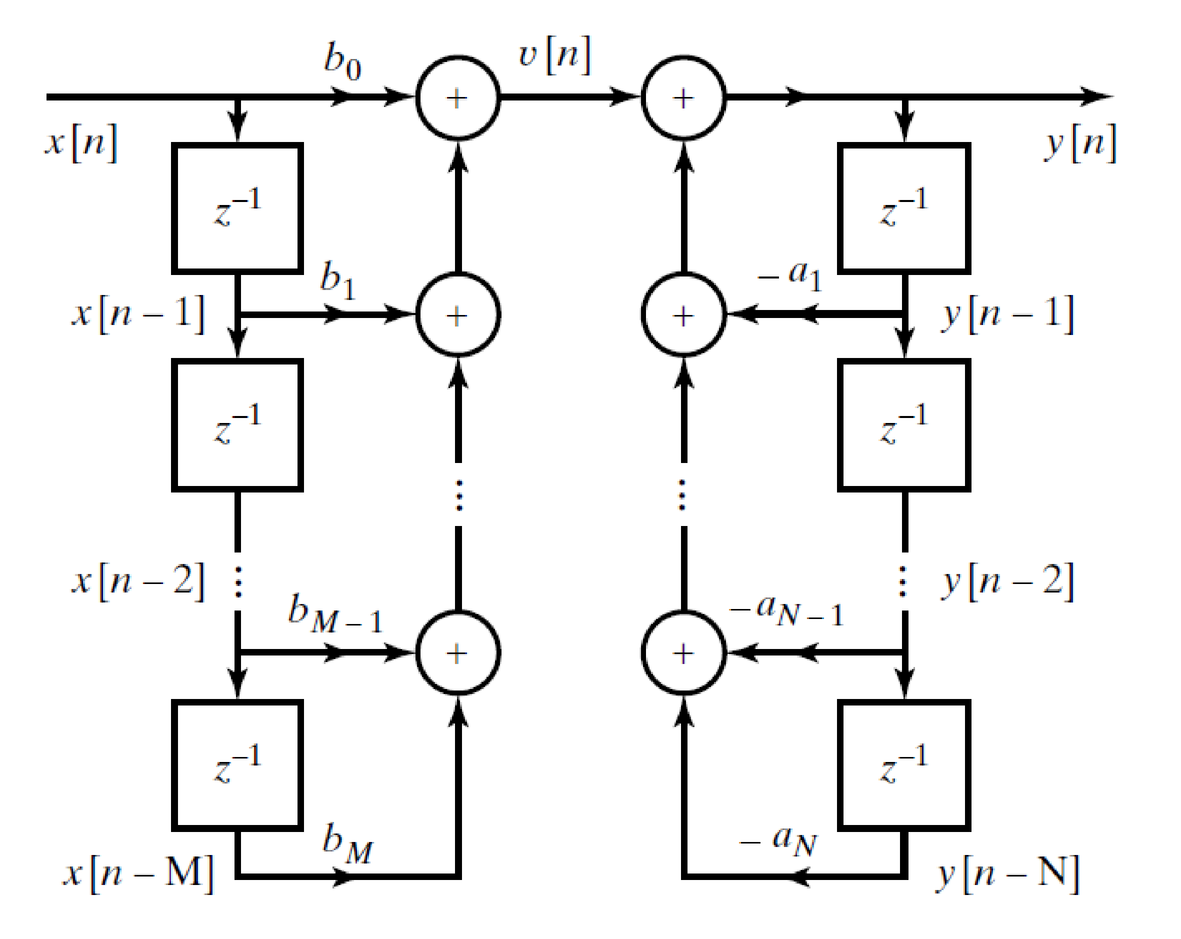
ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Substituindo $v[n]$ em $y[n]$, resulta

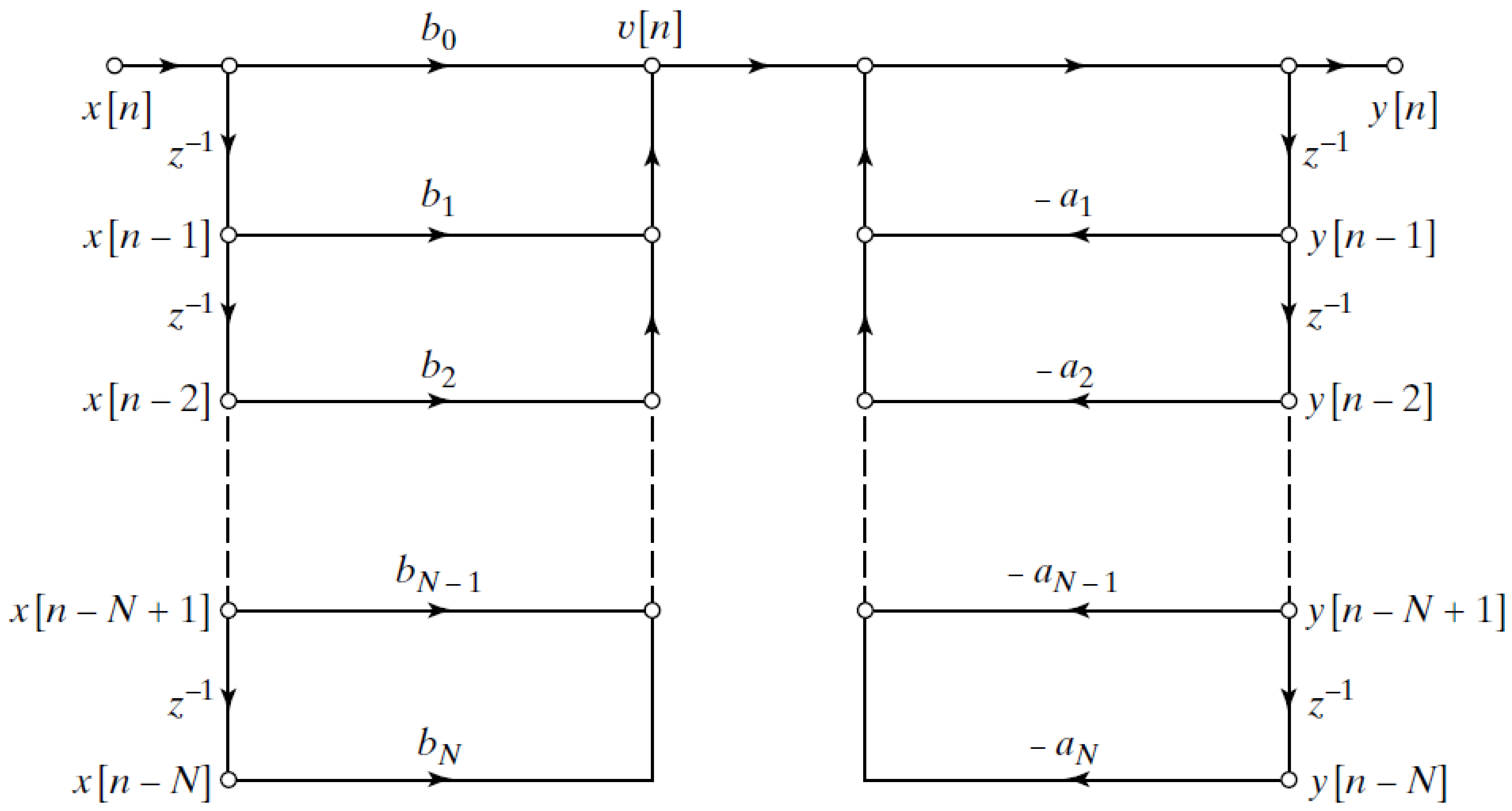
$$y[n] = -\sum_{k=1}^{N} a_k y[n-k] + v[n]$$

FORMA DIRETA I: REALIZAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS



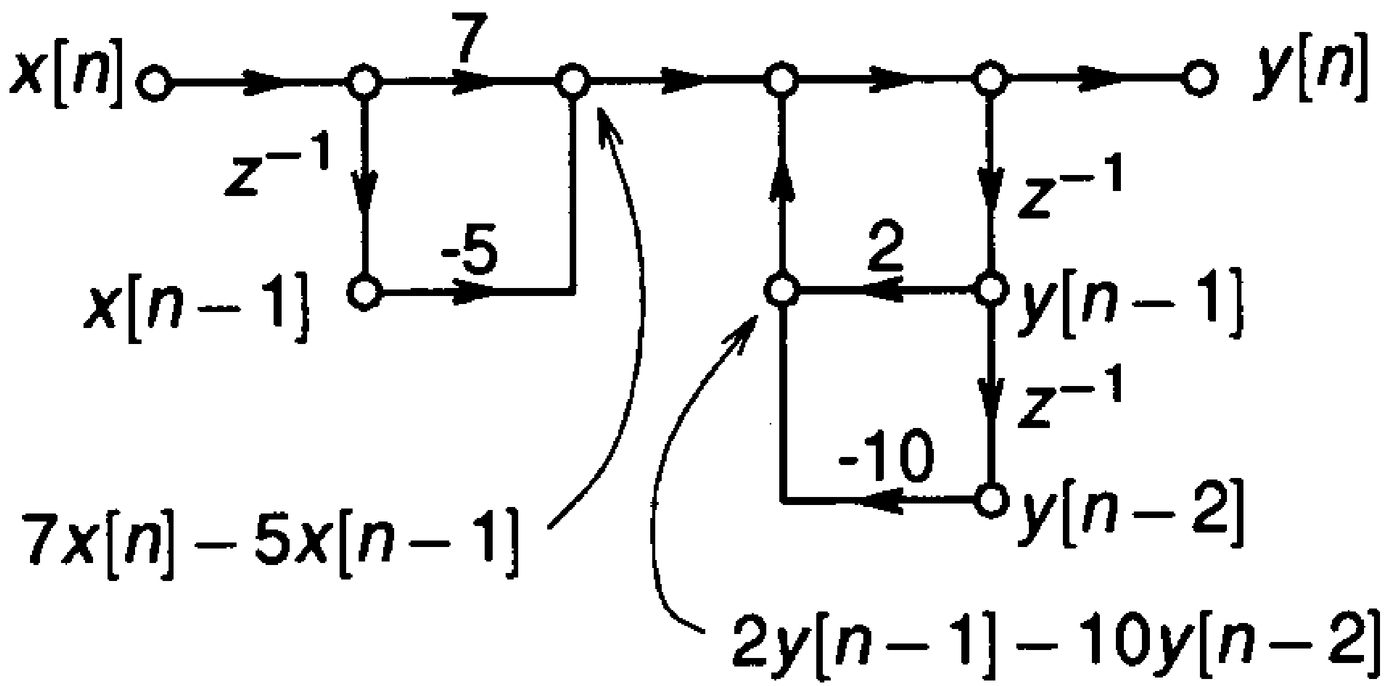


FORMA DIRETA I: REALIZAÇÃO POR GRAFO DE FLUXO ORIENTADO



EXEMPLO: FORMA DIRETA I

$$y[n] = 2y[n-1] - 10y[n-2] + 7x[n] - 5x[n-1]$$



ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- **Forma direta II**: Avaliando no domínio das frequências.

$$H(z) = \frac{\sum_{\mathrm{r}=0}^{\mathrm{M}} b_r\, z^{-r}}{1 + \sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{N}} a_k z^{-k}}$$

$$= \left(\frac{1}{1 + \sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathrm{N}} a_k z^{-k}}\right)\left(\sum_{\mathrm{r}=0}^{\mathrm{M}} b_r\, z^{-r}\right) = \frac{1}{D(z)} N(z)$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

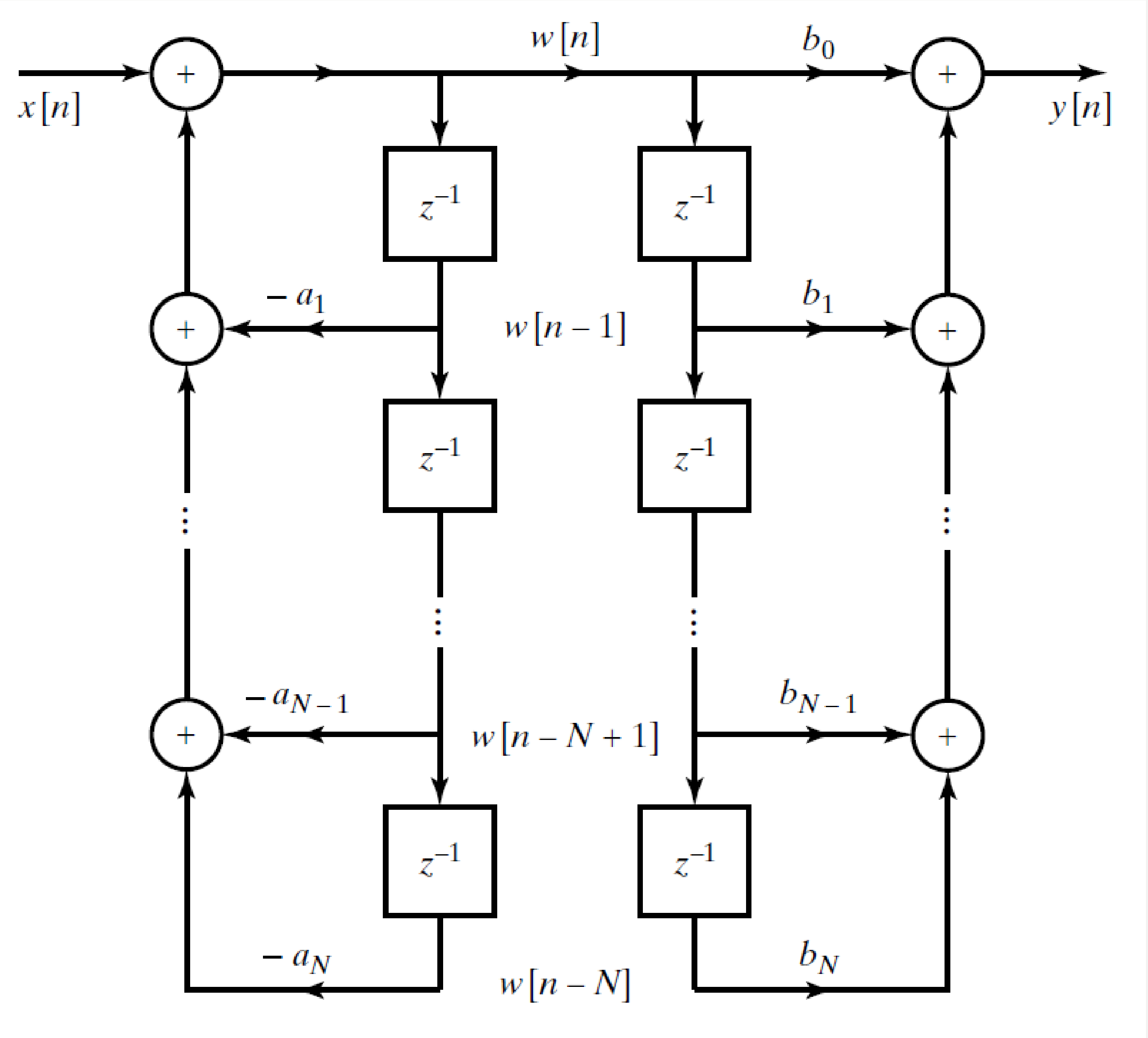
- **Forma direta II**: Avaliando no domínio do tempo.

$$y[n] = \sum_{r=0}^{M} b_r x[n-r] - \sum_{k=1}^{N} a_k y[n-k]$$

- Fazendo

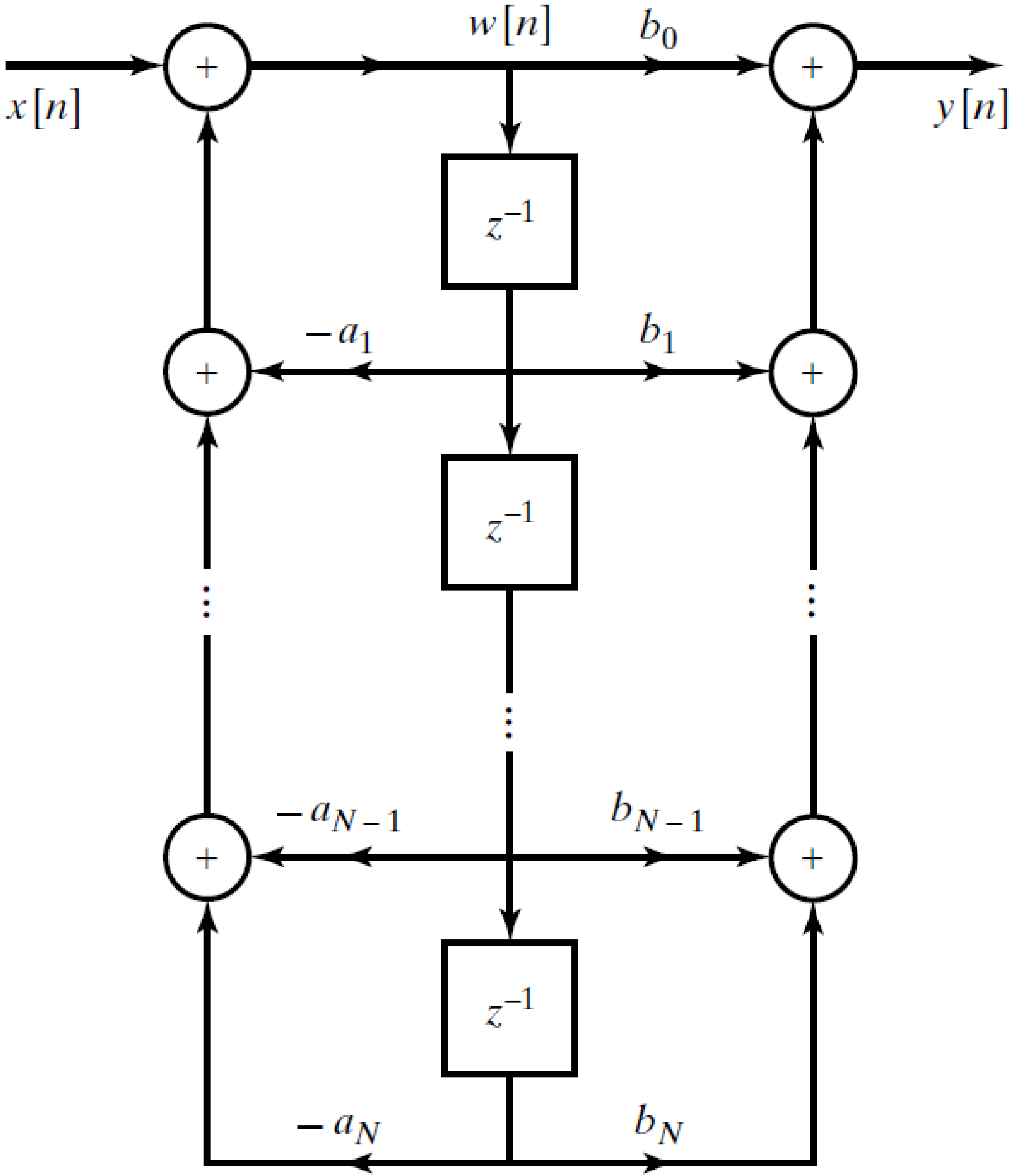
$$w[n] = -\sum_{k=1}^{N} a_k w[n-k] + x[n] \quad y[n] = \sum_{r=0}^{M} b_r w[n-r]$$

FORMA DIRETA II:REALIZAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS



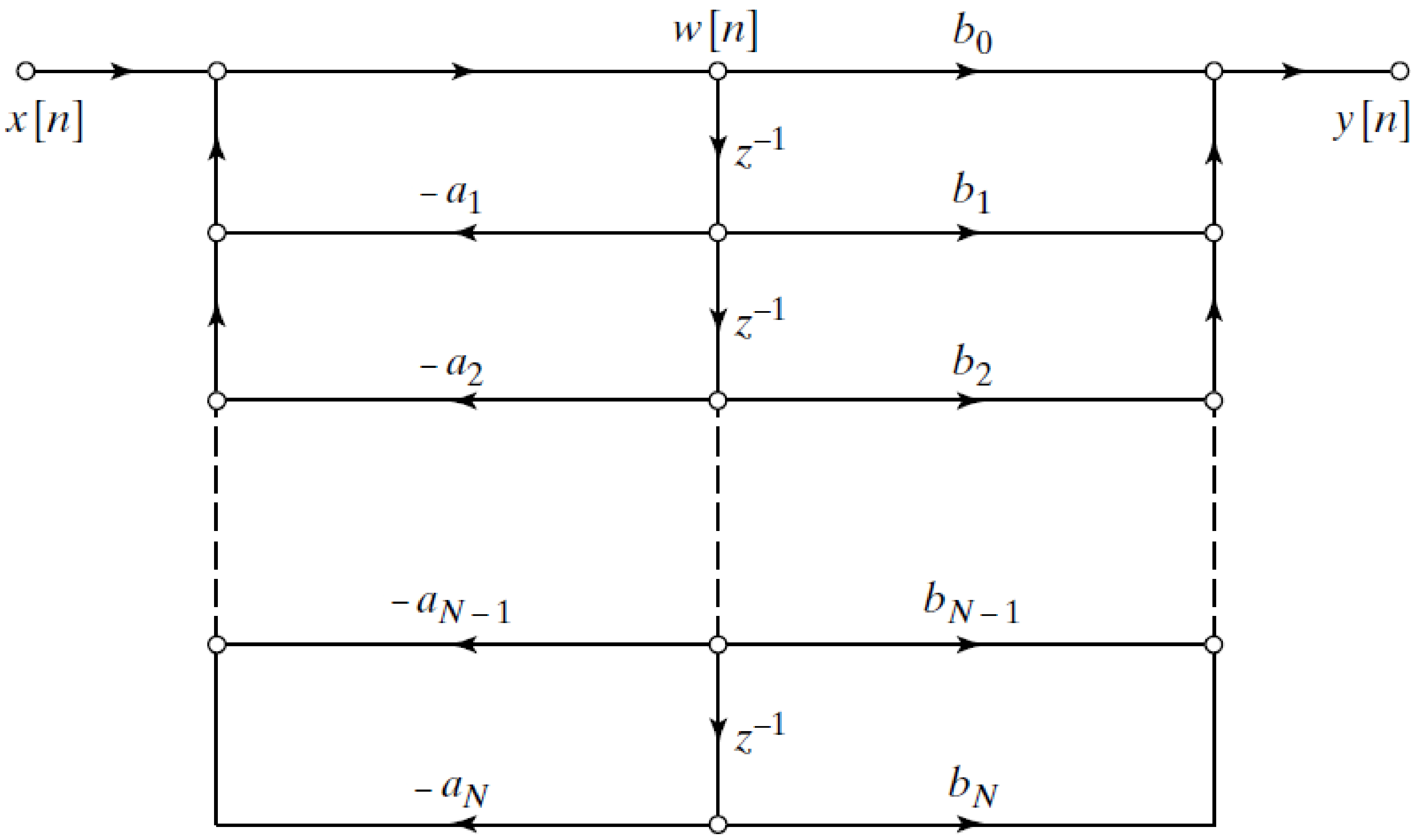
FORMA DIRETA II: REALIZAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS

- Realização denominada canônica com respeito aos atrasos.



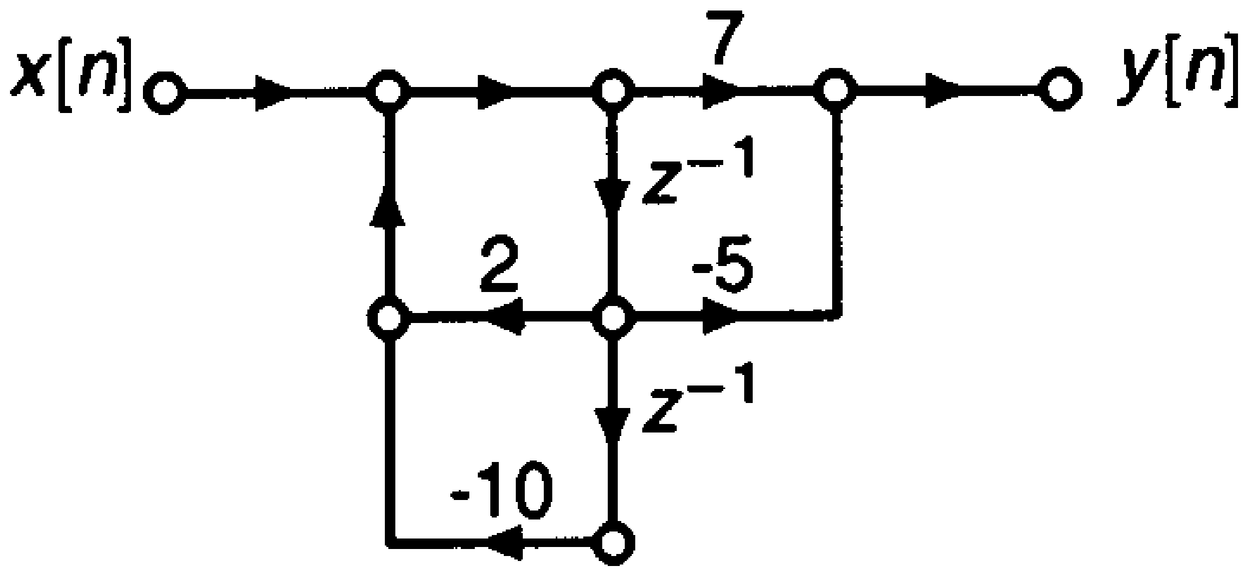
FORMA DIRETA II: REALIZAÇÃO POR GRAFO DE FLUXO ORIENTADO

- Conexão back-to-back



EXEMPLO: FORMA DIRETA II

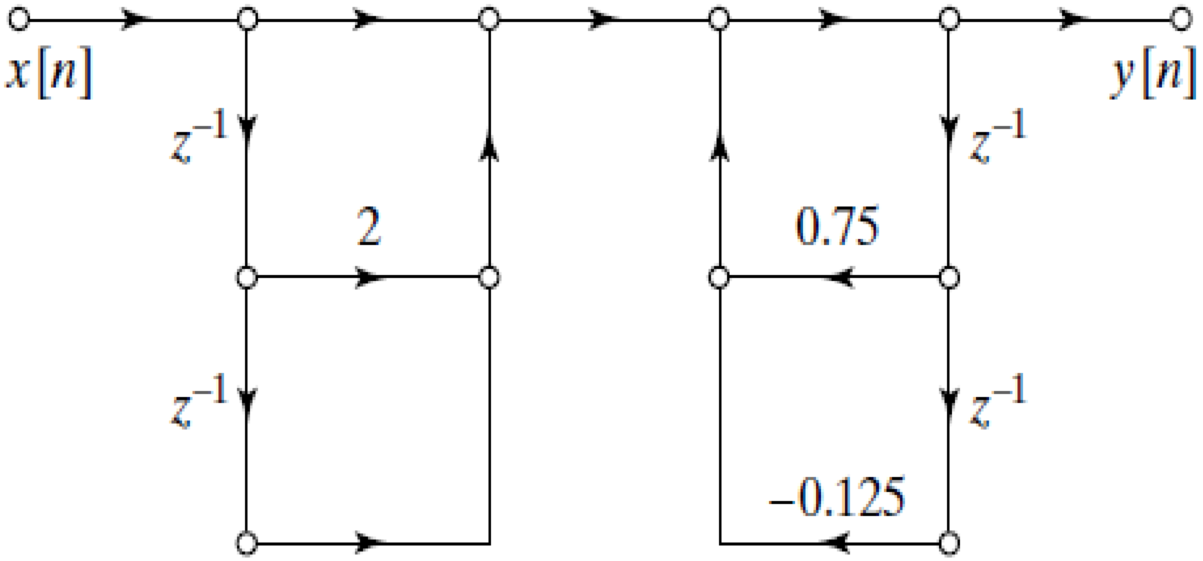
$$y[n] = 2y[n-1] - 10y[n-2] + 7x[n] - 5x[n-1]$$



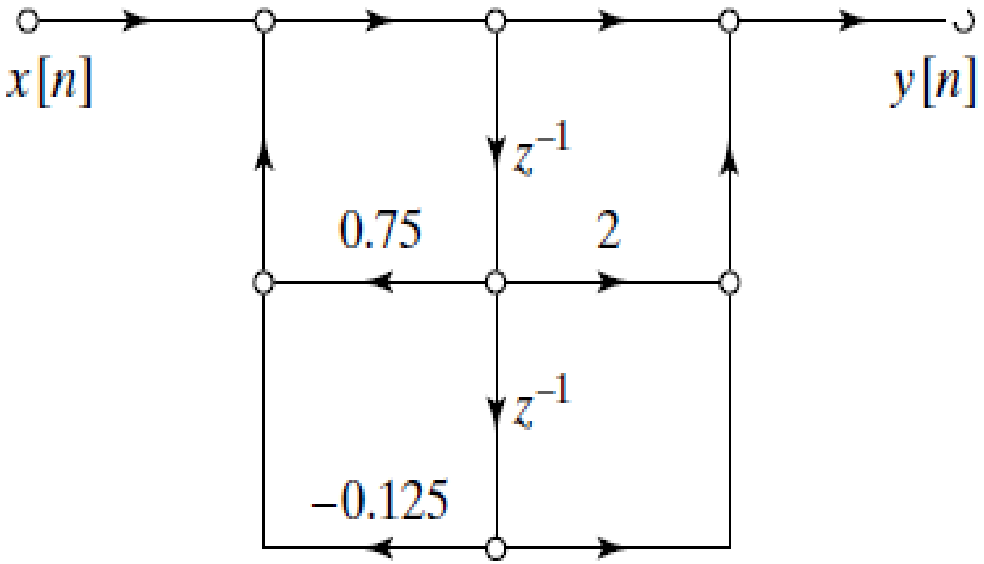
EXEMPLO:

Realize a função de transferência pelas formas diretas I e II:

$$H(z) = \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0.75z^{-1} + 0.125z^{-2}}.$$



Forma direta I



Forma direta II

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- **Realização em cascata**

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \cdots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \cdots + a_N z^{-N}} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

- Algoritmo
- Passo 1: Fatorar D(z) e N(z) e encontrar os polos e os zeros de H(z).

$$H(z) = \frac{N(z)}{D(z)} = \frac{b_0}{a_0} \frac{(1 - z_1 z^{-1})(1 - z_2 z^{-1}) \ldots (1 - z_M z^{-1})}{(1 - p_1 z^{-1})(1 - p_2 z^{-1}) \ldots (1 - p_N z^{-1})}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Passo 2: Agrupe os fatores de primeira ordem de forma a construir uma função biquadrática.
- Uma função biquadrática é da forma

$$H_{bm}(z) = \frac{b_{0m} + b_{1m}z^{-1} + b_{2m}z^{-2}}{a_{0m} + a_{1m}z^{-1} + a_{2m}z^{-2}}, m = 1, 2, \ldots$$

- Passo 3: Escreva $H(z)$ como um produtório de funções biquadráticas.

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

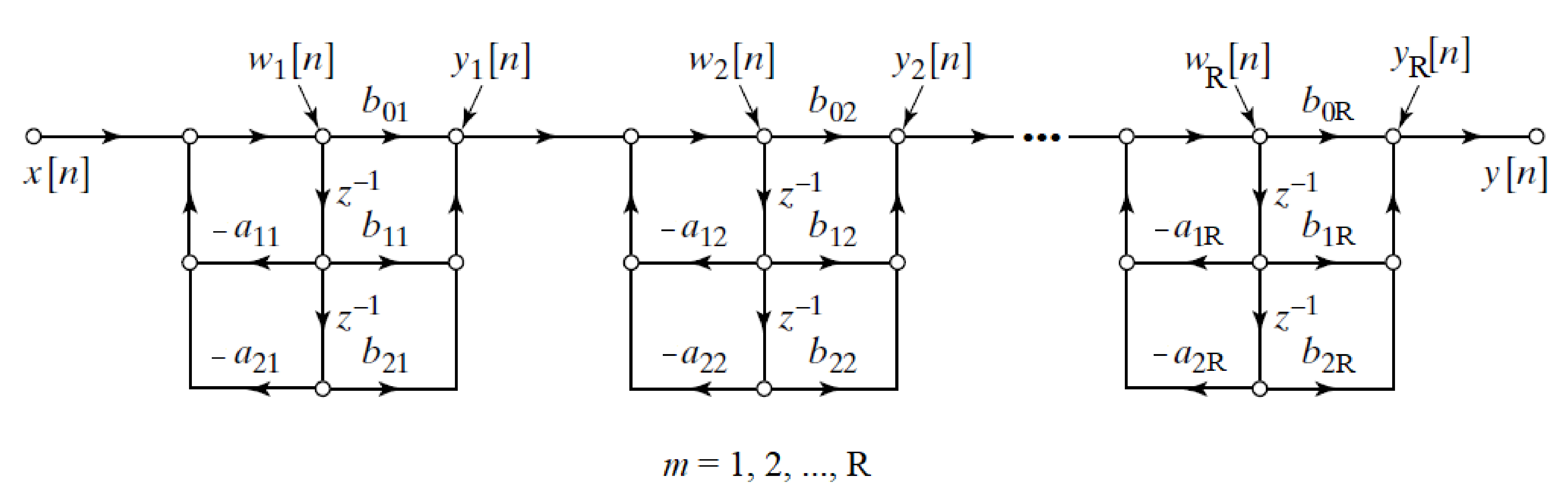
$$H(z) = \prod_m H_{bm}(z) = \prod_m \frac{b_{0m} + b_{1m}z^{-1} + b_{2m}z^{-2}}{a_{0m} + a_{1m}z^{-1} + a_{2m}z^{-2}}$$

- Passo 4: Realize $H(z)$ como a cascata das funções biquadráticas $H_{bm}(z), m = 1, 2, \ldots$ implementadas pela **forma direta II**.

$$H(z) = \prod_m \frac{b_{0m} + b_{1m}z^{-1} + b_{2m}z^{-2}}{1 + a_{1m}z^{-1} + a_{2m}z^{-2}}$$

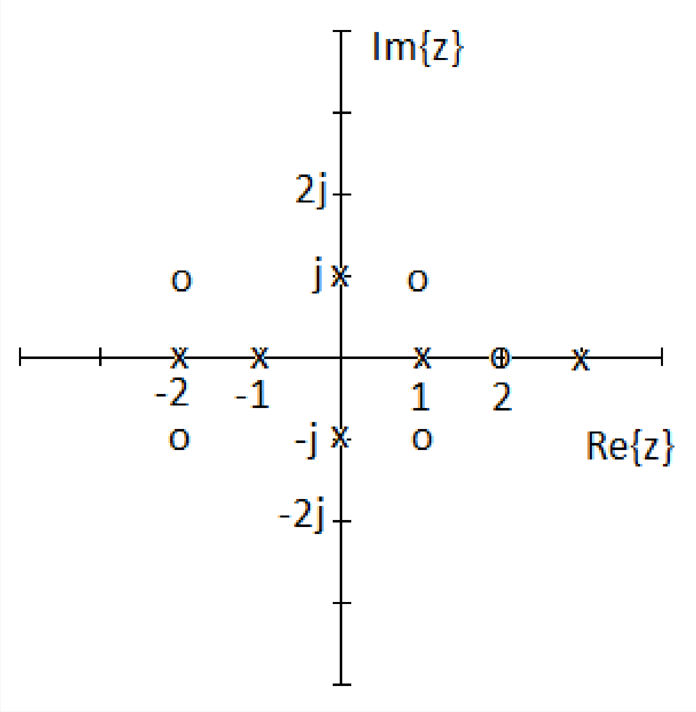
FORMA EM CASCATA: REALIZAÇÃO POR GRAFO DE FLUXO ORIENTADO

- Realização em cascata: diagrama defluxo orientado



EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

- Dada a configuração de polos e zeros para um determinado SLID, realize a sua função de transferência pela forma em cascata. Mostre a realização por meio do grafo de fluxo orientado.



EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

- Direto por inspeção do diagrama de polos e zeros, podemos escrever

$$H(z) = \frac{(z-2)(z-1-j)(z-1+j)(z+2-j)(z+2+j)}{(z+1)(z+2)(z-1)(z-3)(z-j)(z+j)} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

- Primeiramente temos que escolher o par de polos e zeros que constituirão cada função biquadrática (claro que se $N(z)$ ou $D(z)$ for de grau ímpar, deve sobrar uma fração de grau 1(um) no numerador e/ou no denominador).

$$H(z) = \frac{(z-1-j)(z-1+j)(z+2-j)(z+2+j)(z-2)}{\{(z+1)(z-1)\}\{(z+2)\ (z-3)\}(z-j)(z+j)} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

- Uma solução, dentre várias possíveis, seria organizar as funções biquadráticas na forma

$$H(z) = \frac{z^2 - 2z + 2}{z^2 - 1} \frac{z^2 + 4z + 5}{z^2 - z - 6} \frac{z - 2}{z^2 + 1} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

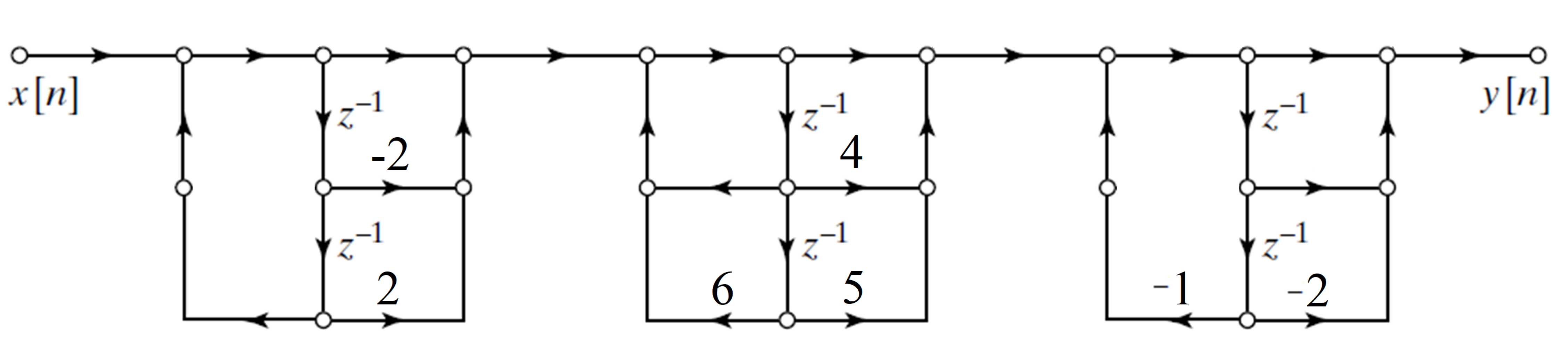
- Multiplicando o numerador de o denominador por z^{-6} para representar as funções biquadráticas em termos de expoentes negativos, obtemos

$$H(z) = \frac{1 - 2z^{-1} + 2z^{-2}}{1 - z^{-2}} \frac{1 + 4z^{-1} + 5z^{-2}}{1 - z^{-1} - 6z^{-2}} \frac{z^{-1} - 2z^{-2}}{1 + z^{-2}}$$

$$= \frac{N(z)}{D(z)}$$

EXEMPLO: REALIZAÇÃO EM CASCATA

- Realização de $H(z)$ em cascata por diagrama de fluxo orientado.



ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- **Realização em paralelo**

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \cdots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \cdots + a_N z^{-N}} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

- Algoritmo
- Passo I: Fazer uma mudança de variável: $z^{-1} = p$.

$$H(p) = \frac{b_0 + b_1 p + \cdots + b_M p^M}{a_0 + a_1 p + \cdots + a_N p^N} = \frac{N(p)}{D(p)}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Passo 2: Verificar se: $\boldsymbol{Grau\{N(p)\} \geq Grau\{D(p)\}}$. Caso afirmativo, proceda a divisão polinomial.

$$\begin{array}{l|l} N(p) & \underline{D(p)} \\ N_1(p) & Q(p) \end{array}$$

- $Y(p)$ pode ser rescrito como:

$$H(p) = \frac{N(p)}{D(p)} = Q(p) + \frac{N_1(p)}{D(p)} = Q(p) + \widehat{H}(p)$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Observe que $Q(p)$ é da forma

$$Q(p) = \sum_{k=0}^{M-N} C_k p^{-k} = C_0 + C_1 p + \cdots + C_{M-N} p^{M-N}$$

- Fazendo $p = z^{-1}$

$$Q(z) = \sum_{k=0}^{M-N} C_k z^{-k} = C_0 + C_1 z^{-1} + \cdots + C_{M-N} z^{-(M-N)}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Uma parte do problema está resolvido. Caso $\boldsymbol{Grau\{N(p)\}} < \boldsymbol{Grau\{D(p)\}}$, passe para o passo 3.
- Fatorar D(p) e obter os polos de $\widehat{H}(p)$. $\widehat{H}(p)$ é da forma

$$\widehat{H}(p) = \frac{N_1(p)}{\mathrm{D}(p)}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Observe que os polos de $\widehat{H}(p)$ são os mesmos de $\mathrm{H}(p)$.
- Fazendo $\mathrm{D}(p) = 0$, resulta

$$\mathrm{D}(p) = 0 \Rightarrow (p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_N)$$

- $p_k, k = 1,2, \dots N$, são os polos de $\widehat{H}(p)$.

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Passo 4: Expandir $\widehat{H}(p)$ em frações parciais e calcular resíduos

$$\widehat{H}(p) = \frac{N_1(p)}{\mathrm{D}(p)} = \frac{K_1}{p - p_1} + \frac{K_2}{p - p_2} + \cdots + \frac{K_N}{p - p_N}$$

- $K_r, r = 1,2, \dots, N$, é uma constante denominada "resíduo associado à singularidade (polo) K_r".

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Para o cálculo do resíduo associado a cada singularidade se apresentam três casos distintos:

    1 - $\widehat{H}(p)$ possui somente polos reais e simples.

    2 - $\widehat{H}(p)$ possui polos de multiplicidade "q".

    3 - $\widehat{H}(p)$ possui polos complexos conjugados.

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Passo 5: Fazer $p = z^{-1}$ e agrupar as frações parciais aos pares de forma a construir funções biquadráticas. $H(z)$ pode ser representada na forma

$$H(z) = Q(z) + \widehat{H}(z)$$

$$H(z) = \sum_{k=0}^{M-N} C_k z^{-k} + \sum_{r} \frac{b_{0r} + b_{1r}z^{-1}}{a_{0r} + a_{1r}z^{-1} + a_{2r}z^{-2}}$$

ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Necessariamente $b_{2r} = 0$ pois o grau do denominador tem que ser maior que o do numerador.
- Pode ser que algum outro coeficiente de alguma função biquadrática seja nulo.
- As biquadráticas são realizadas pela forma direta II.

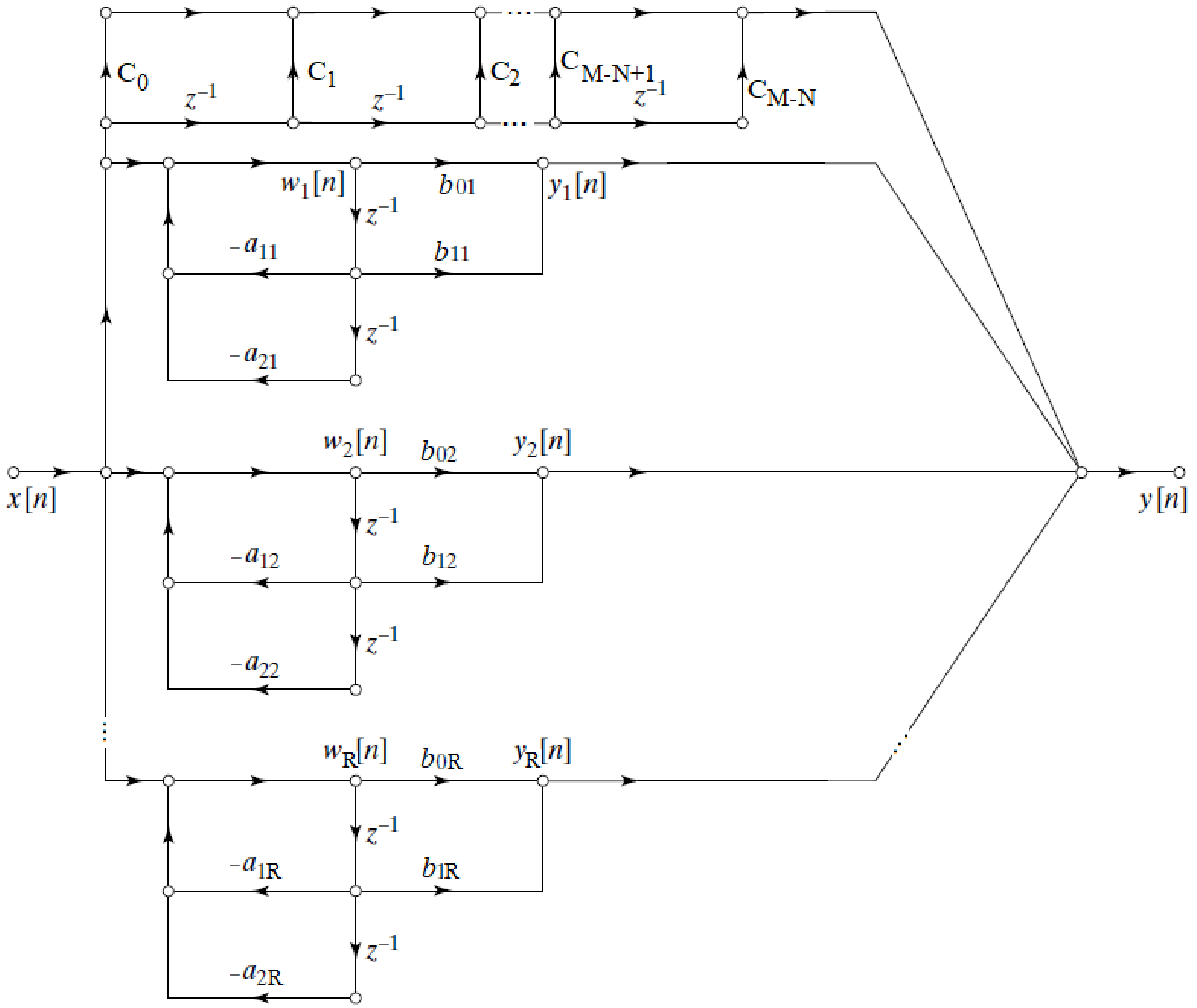
ESTRUTURAS BÁSICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SLIDS

- Fazendo $a_{0r} = 1$, resulta

$$H(z) = \underbrace{\sum_{k=0}^{M-N} C_k z^{-k}}_{\text{SLID-FIR}} + \underbrace{\sum_r \frac{b_{0r} + b_{1r}z^{-1}}{1 + a_{1r}z^{-1} + a_{2r}z^{-2}}}_{\text{SLID-IIR}}$$

- Observe que nesta realização tem-se a combinação linear de um SLID FIR com um SLID IIR.

FORMA EM CASCATA: REALIZAÇÃO POR GRAFO DE FLUXO ORIENTADO



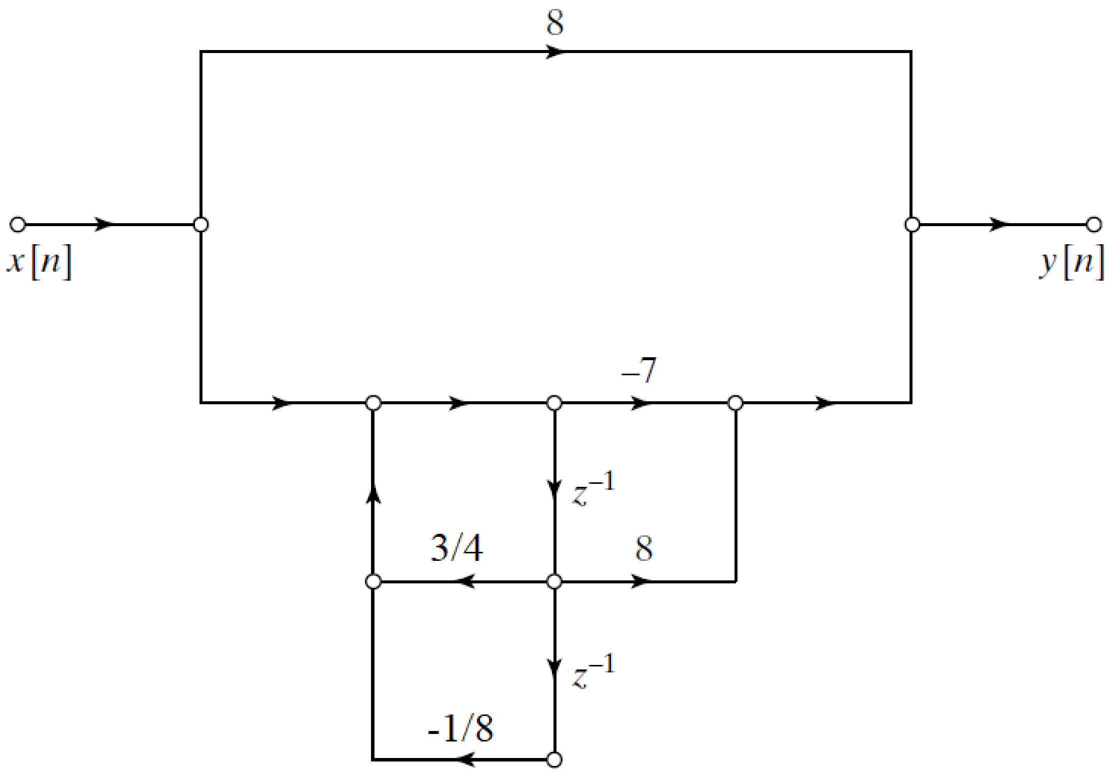
EXEMPLO: FORMA EM PARALELO.

$$H(z) = \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{1 - \frac{3}{4}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2}}$$

Grau do num. =
Grau do denom. $\Rightarrow$ divisão polinomial

$$\begin{array}{l|l} 1 + 2z^{-1} + z^{-2} & 1 - \frac{3}{4}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2} \\ \underline{-8 + 6z^{-1} - z^{-2}} & \overline{8} \\ -7 + 8z^{-1} & \end{array} \Rightarrow H(z) = 8 + \frac{-7 + 8z^{-1}}{1 - \frac{3}{4}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2}}$$

Não é preciso continuar a expansão em frações parciais porque já está na forma desejada.



EXEMPLO

- Realize a função de transferência abaixo pela forma em paralelo. Mostre a realização por meio do grafo de fluxo orientado.

$$H(z) = \frac{6 - 4z^{-1} - z^{-2} + 2z^{-3} - z^{-4}}{2 - 2z^{-1} + z^{-2}} + \frac{-\frac{1}{6} + \frac{1}{3}z^{-1}}{(1 - z^{-1})(1 - \frac{1}{2}z^{-1})(1 - \frac{1}{3}z^{-1})}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- $H(z)$ já está representada como uma combinação linear. Podemos escrever $H(z)$ na forma

$$H(z) = H_1(z) + H_2(z)$$

- Como $H_1(z)$ já está na forma de uma biquadrática, pois seu denominador é de segunda ordem. Assim, pode-se tratar $H_1(z)$ e $H_2(z)$ em separado e, depois, compor a solução final.

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Tratando primeiramente $H_1(z)$, temos

$$H_1(z) = \frac{6 - 4z^{-1} - z^{-2} + 2z^{-3} - z^{-4}}{2 - 2z^{-1} + z^{-2}}$$

- Fazendo $z^{-1} = p$

$$H_1(p) = \frac{6 - 4p - p^2 + 2p^3 - p^4}{2 - 2p + p^2}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Efetuando a divisão polinomial, podemos escrever $H_1(z)$ como

$$H_1(p) = \frac{6 - 4p - p^2 + 2p^3 - p^4}{2 - 2p + p^2}$$

$$= 1 - p^2 + \frac{4 - 2p}{2 - 2p + p^2}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Fazendo $p = z^{-1}$ e $a_0 = 1$, obtemos

$$H_1(z) = 1 - z^{-2} + \frac{2 - z^{-1}}{1 - z + \frac{1}{2}z^{-2}}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Para $H_2(z)$, temos

$$H_2(z) = \frac{-\frac{1}{6} + \frac{1}{3}z^{-1}}{(1 - z^{-1})\left(1 - \frac{1}{2}z^{-1}\right)\left(1 - \frac{1}{3}z^{-1}\right)}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Fazendo $z^{-1} = p$

$$H_2(p) = \frac{-\frac{1}{6} + \frac{1}{3}p}{(1-p)\left(1-\frac{1}{2}p\right)\left(1-\frac{1}{3}p\right)}$$

$$= \frac{-1+2p}{(p-1)(p-2)(p-3)} =$$

$$= \frac{K_1}{p-1} + \frac{K_2}{p-2} + \frac{K_3}{p-3}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Calculando os resíduos

$$K_1 = (p-1)\left.\frac{1-2p}{(p-1)(p-2)(p-3)}\right|_{p=1} = \left.\frac{1-2p}{(p-2)(p-3)}\right|_{p=1} = -\frac{1}{2}$$

$$K_2 = (p-2)\left.\frac{1-2p}{(p-1)(p-2)(p-3)}\right|_{p=2} = \left.\frac{1-2p}{(p-1)(p-3)}\right|_{p=2} = 3$$

$$K_3 = (p-3)\left.\frac{1-2p}{(p-1)(p-2)(p-3)}\right|_{p=3} = \left.\frac{1-2p}{(p-1)(p-2)}\right|_{p=3} = -\frac{5}{2}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- $H_2(p)$ pode ser rescrita como:

$$H_2(p) = \frac{-\frac{1}{2}}{p-1} + \frac{3}{p-2} + \frac{-\frac{5}{2}}{p-3}$$

- Fazer $p = z^{-1}$

$$H_2(z) = \frac{\frac{1}{2}}{1-z^{-1}} - \frac{\frac{3}{2}}{1-\frac{1}{2}z^{-1}} + \frac{-\frac{5}{6}}{p-\frac{1}{3}z^{-1}}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Somando as duas primeiras frações parciais, resulta

$$H_2(z) = \frac{\frac{1}{2}}{1 - z^{-1}} - \frac{\frac{3}{2}}{1 - \frac{1}{2}z^{-1}} + \frac{-\frac{5}{6}}{1 - \frac{1}{3}z^{-1}}$$

$$= \frac{-1 + z^{-1}}{1 - \frac{3}{2}z^{-1} + \frac{1}{2}z^{-2}} + \frac{-\frac{5}{6}}{1 - \frac{1}{3}z^{-1}}$$

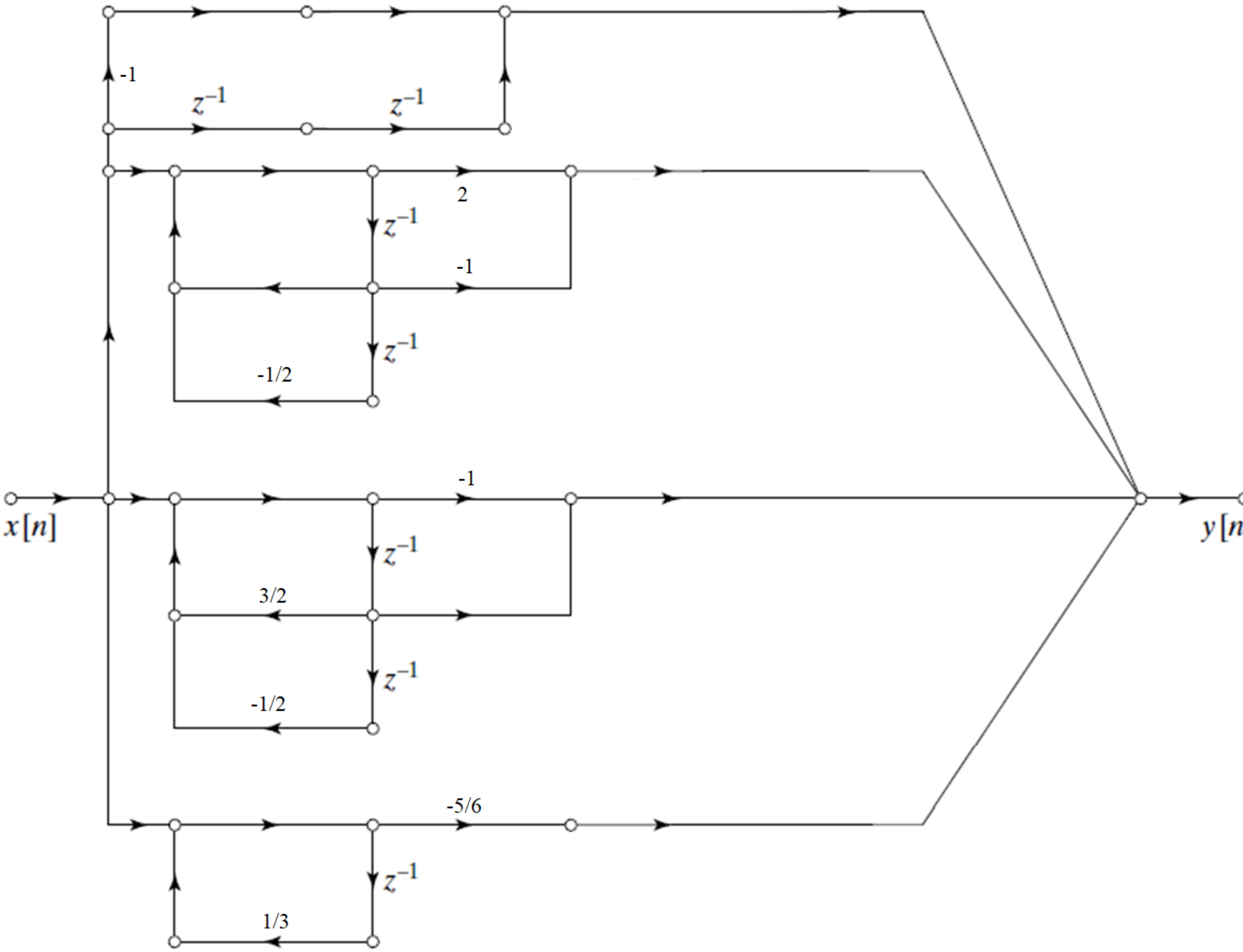
EXEMPLO: SOLUÇÃO

- $H(z) = H_1(z) + H_2(z)$ pode ser escrita como

$$H(z) = 1 - z^{-2} + \frac{2 - z^{-1}}{1 - z + \frac{1}{2}z^{-2}} + \frac{-1 + z^{-1}}{1 - \frac{3}{2}z^{-1} + \frac{1}{2}z^{-2}} + \frac{-\frac{5}{6}}{1 - \frac{1}{3}z^{-1}}$$

EXEMPLO: SOLUÇÃO

- Diagrama de fluxo orientado.



JANELAMENTO DE SINAIS

- Produto de uma sequência no domínio do tempo de comprimento arbitrário por uma janela de comprimento finito Aplicações:
  - 1. Análise espectral
  - 2. Projeto de SLIDs-FIR (filtros digitais FIR)
  - 3. Pre-processamento para extração de parâmetros/assinaturas espectrais.

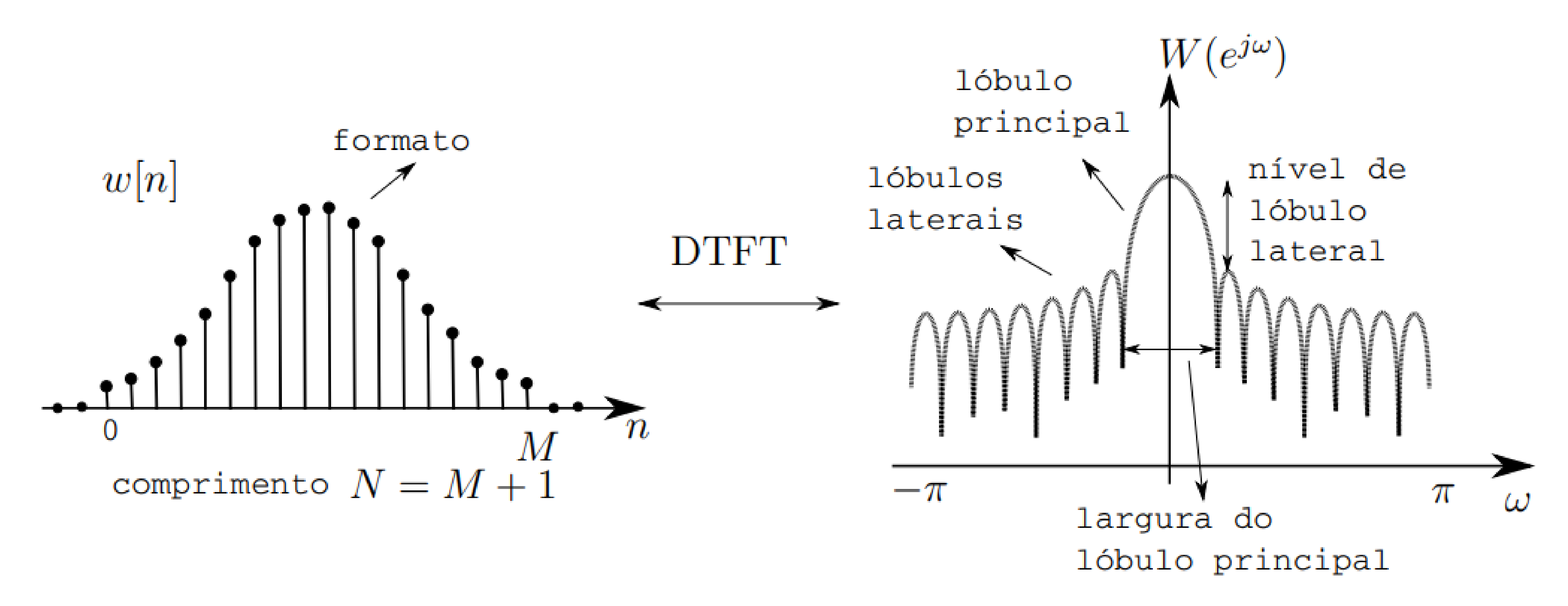
JANELAMENTO

Produto de sequências no domínio do tempo: Teorema da convolução complexa

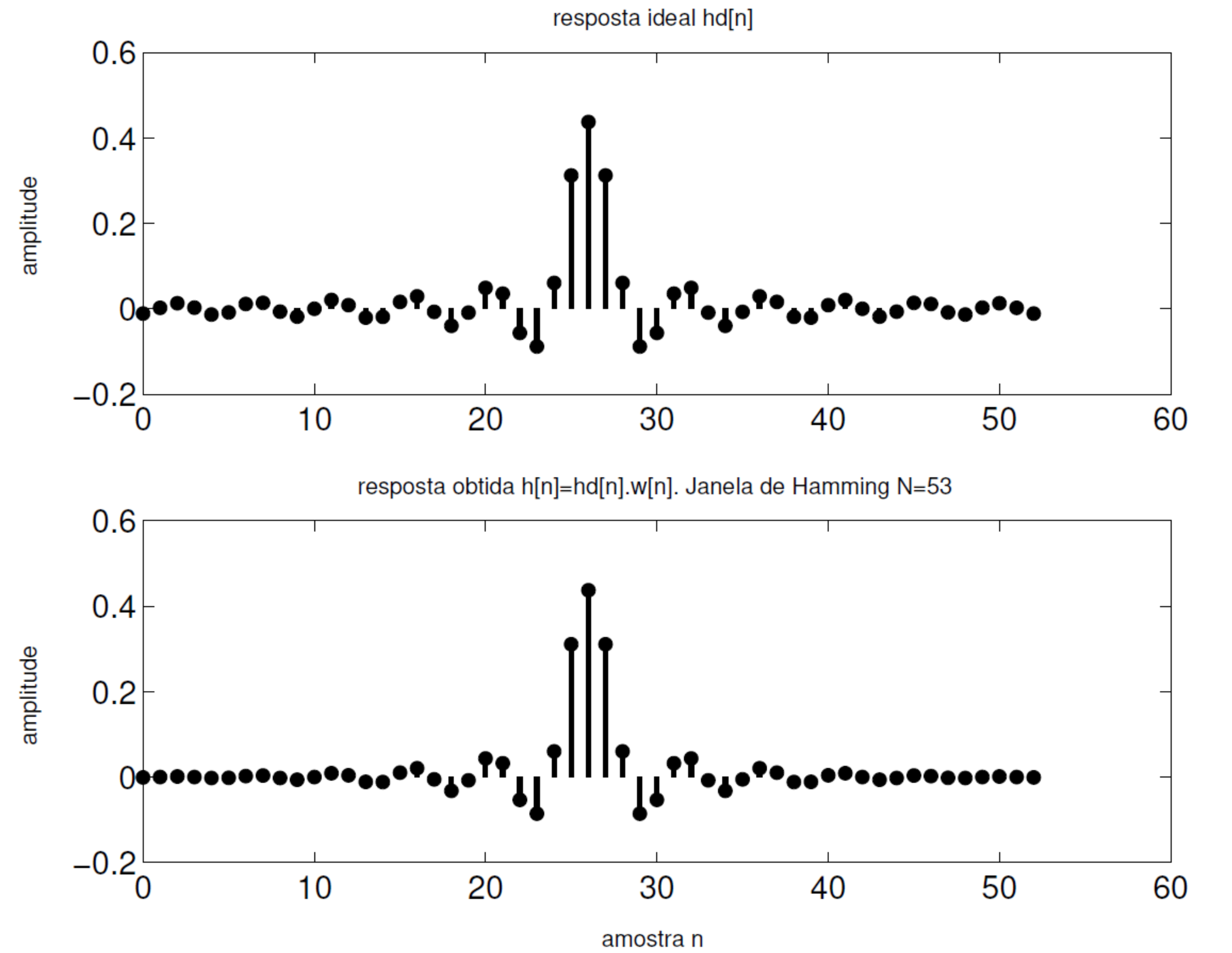
$$y[n] = \mathcal{F}\{x[n]w[n]\} \leftrightarrow Y\left(e^{j\omega}\right) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} X\left(e^{j\tau}\right)W\left(e^{j(\omega-\tau)}\right)d\tau$$

Para a análise espectral se espera que a resposta em frequência da janela se aproxime de um impulso em frequência: $\delta(\omega)$

JANELAMENTO

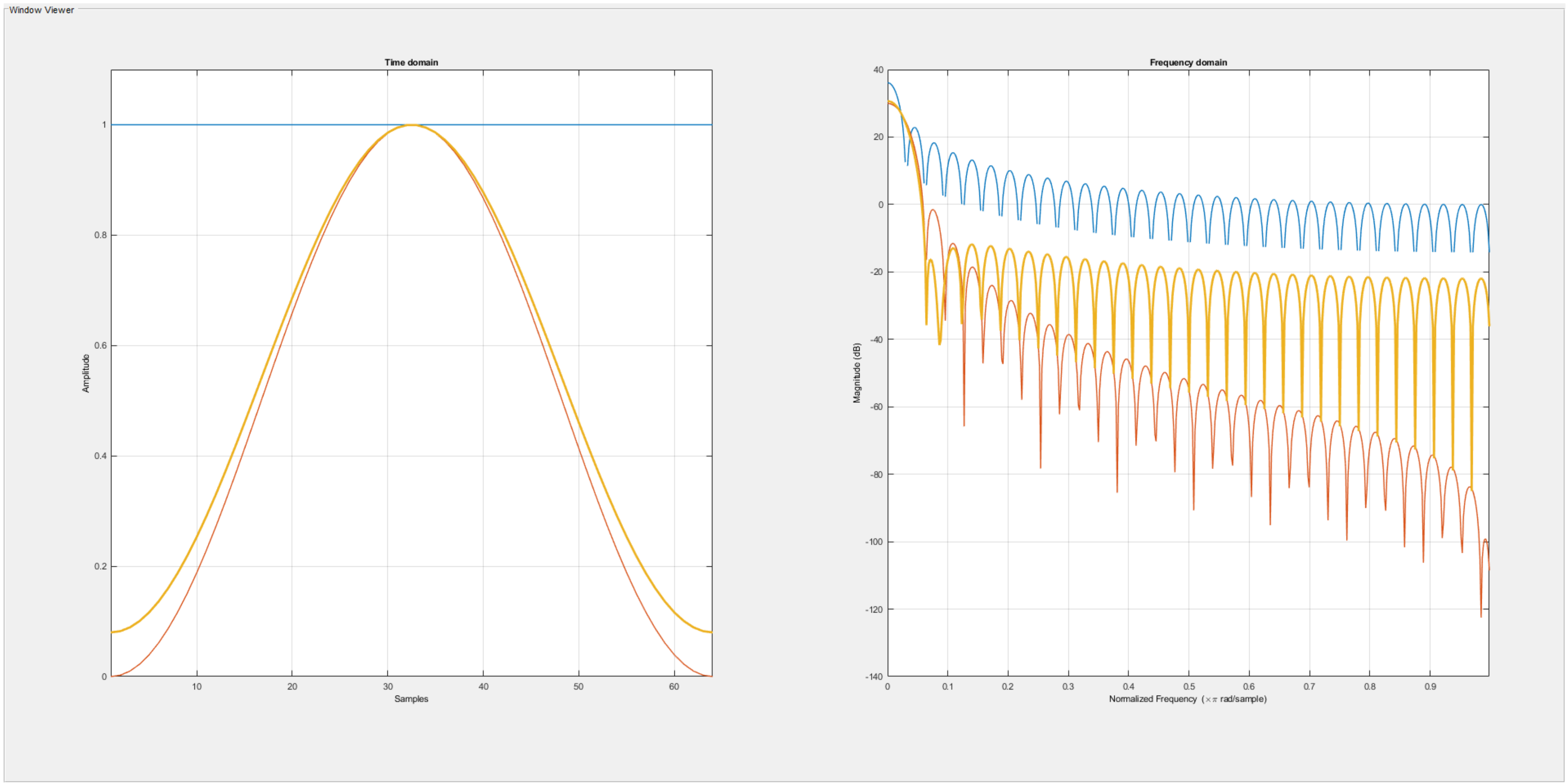


JANELAMENTO



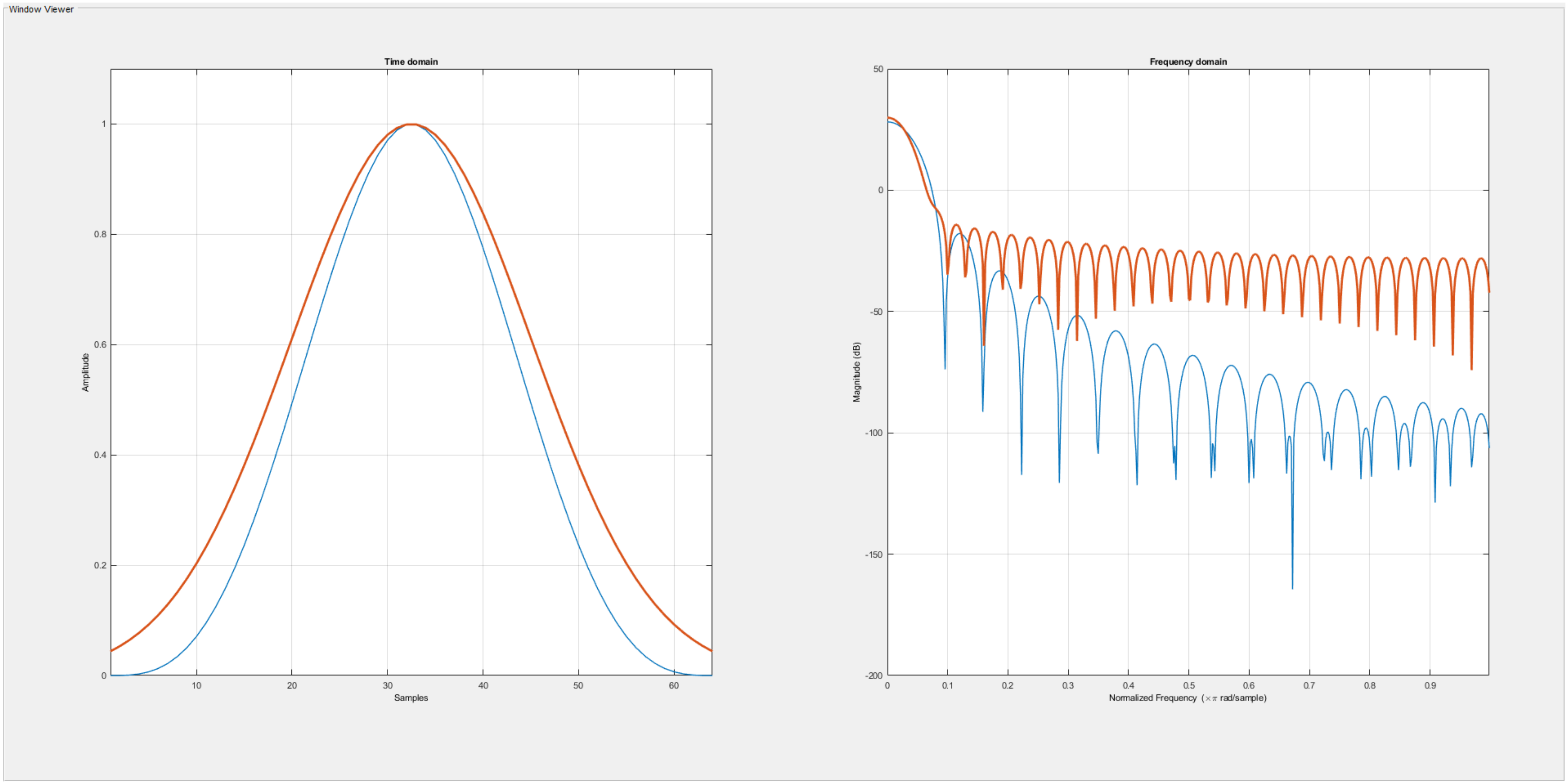
JANELAMENTO

- Janelas Retangular, de Hanning e de Hamming:



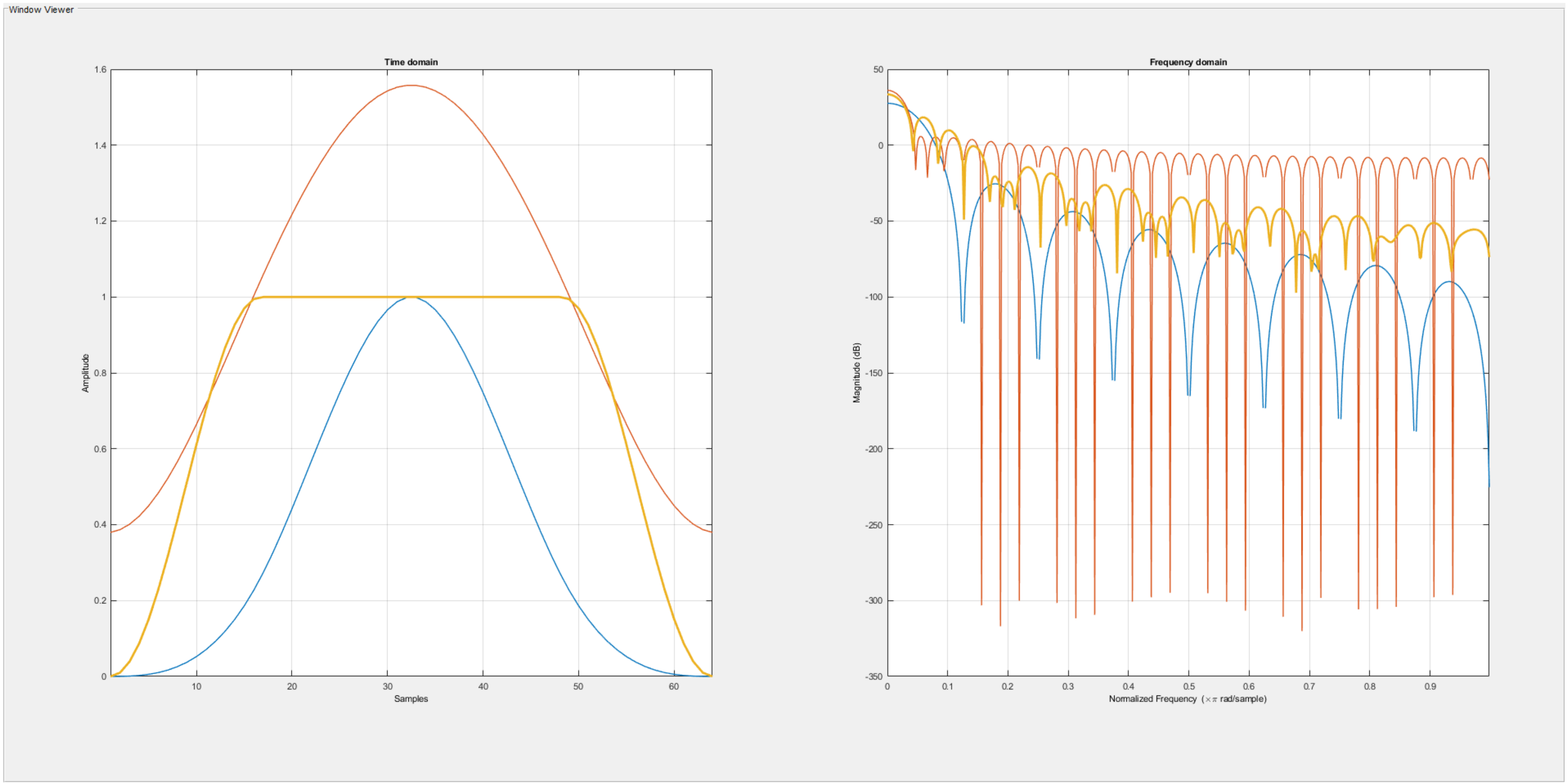
JANELAMENTO

- Janelas de Bohman_e Gaussiana:



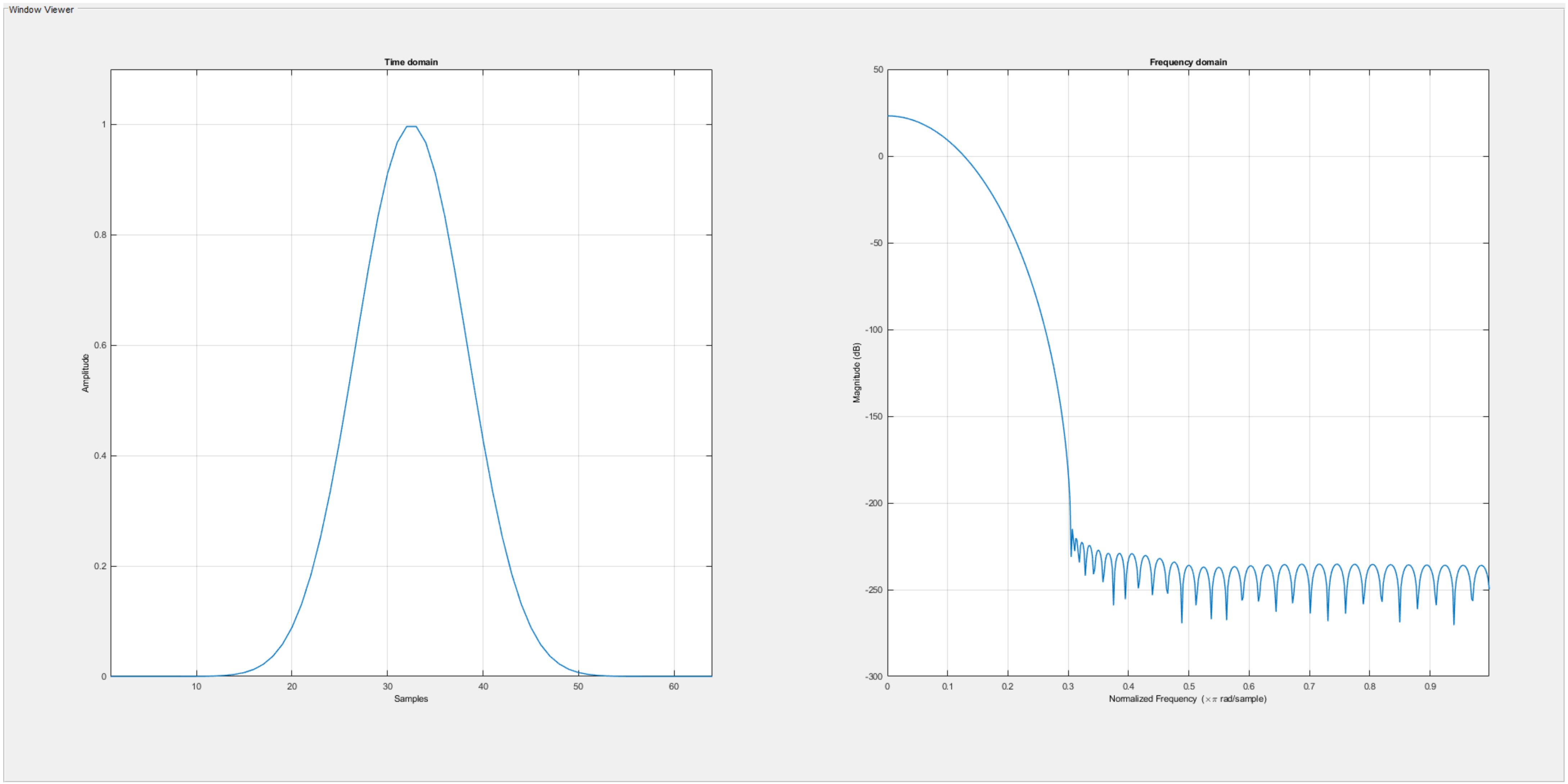
JANELAMENTO

- Janelas de Parzen, de Tukey e de Taylor:



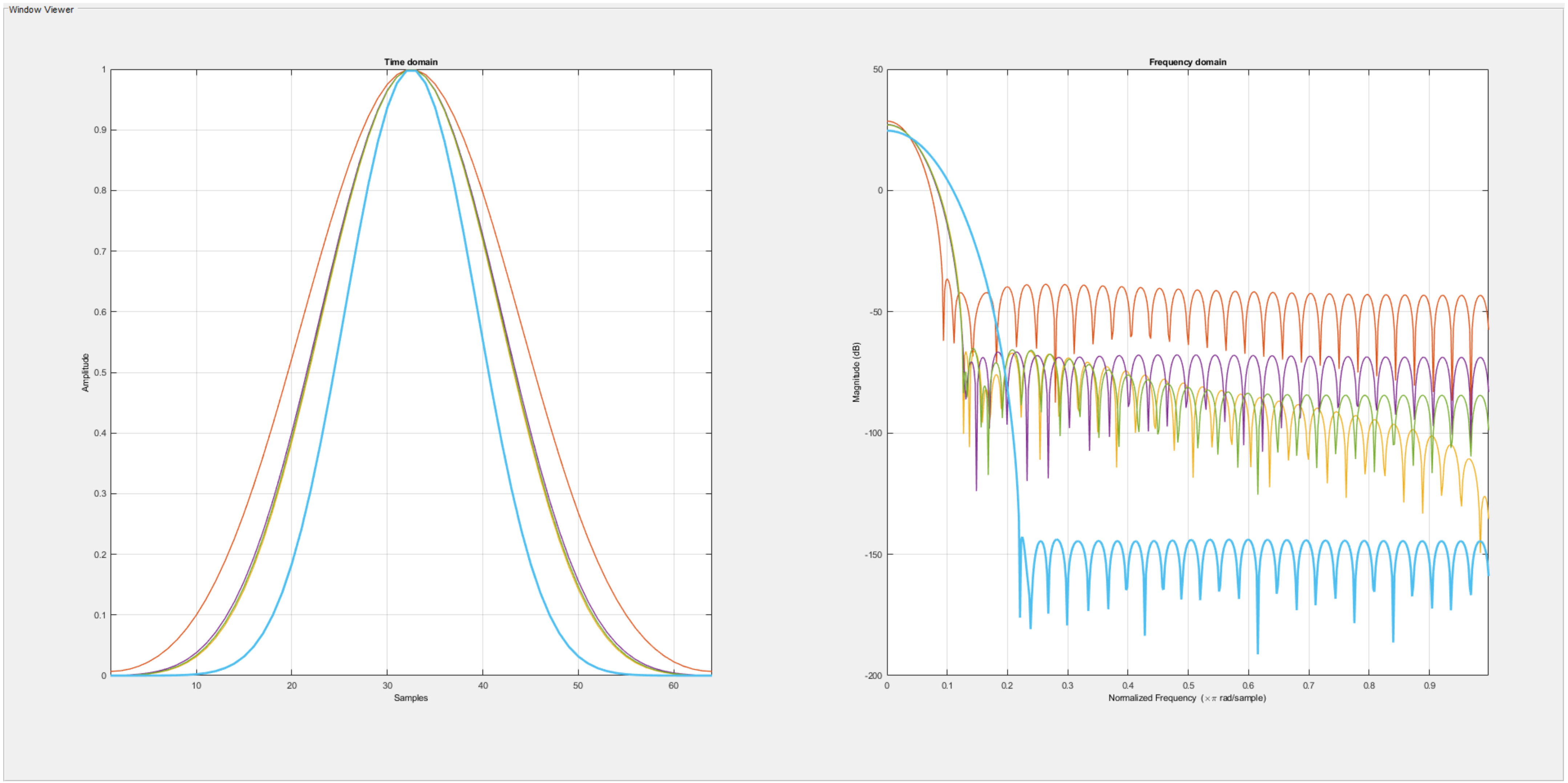
JANELAMENTO

- Janelas de Kaiser:



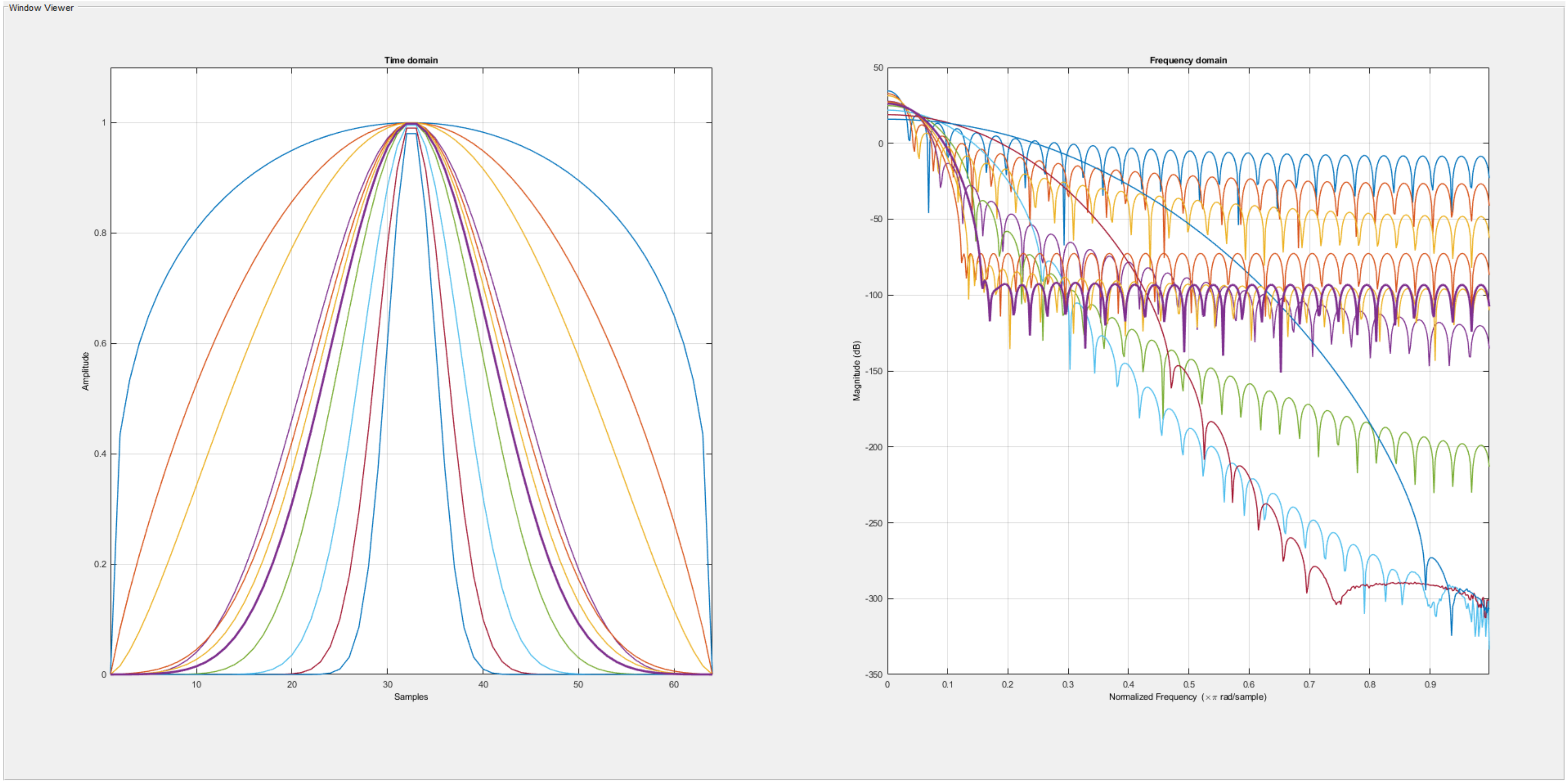
JANELAMENTO

- Janelas de Blackman:



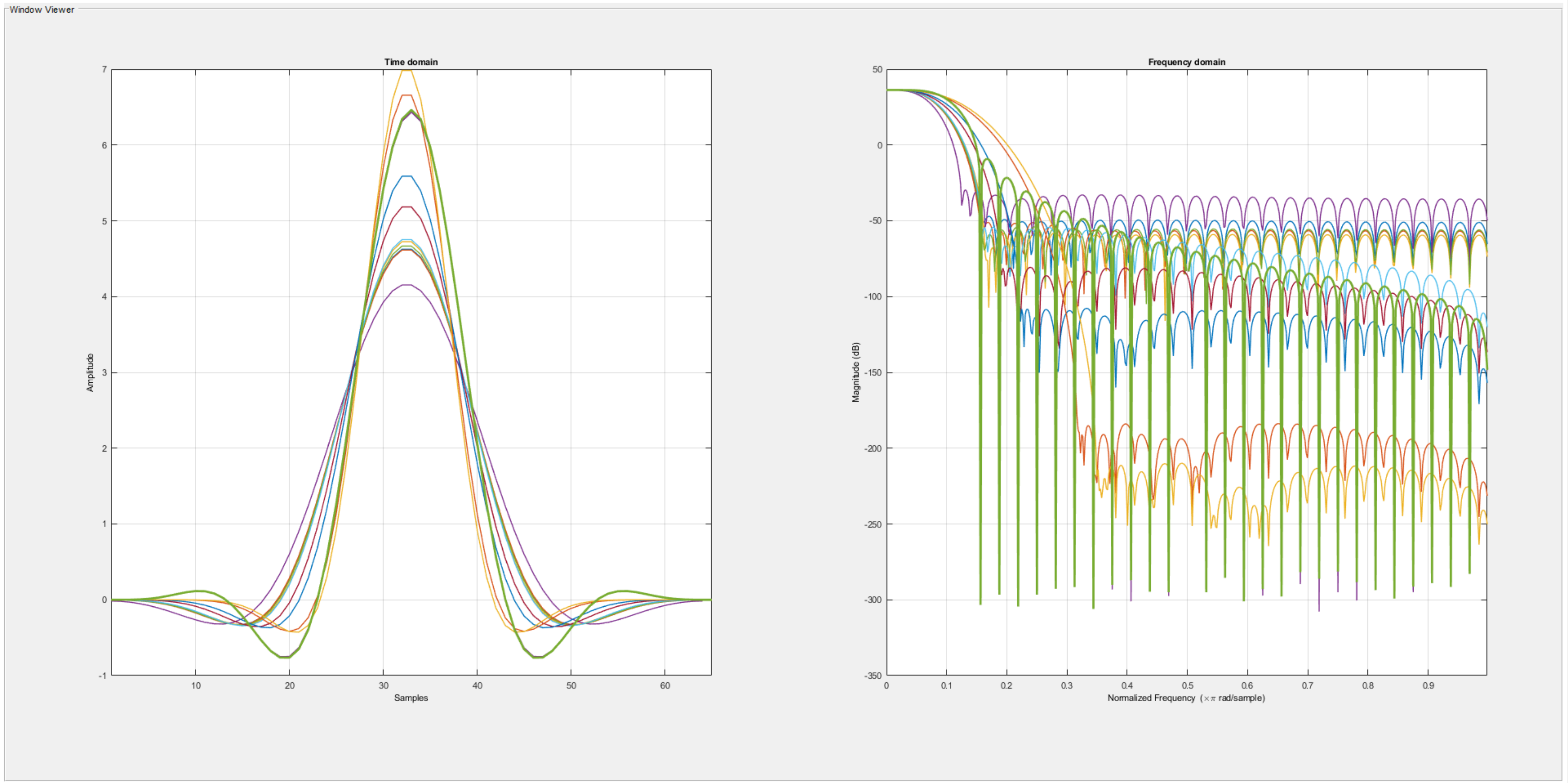
JANELAMENTO

- Janelas Ultra-esférica:



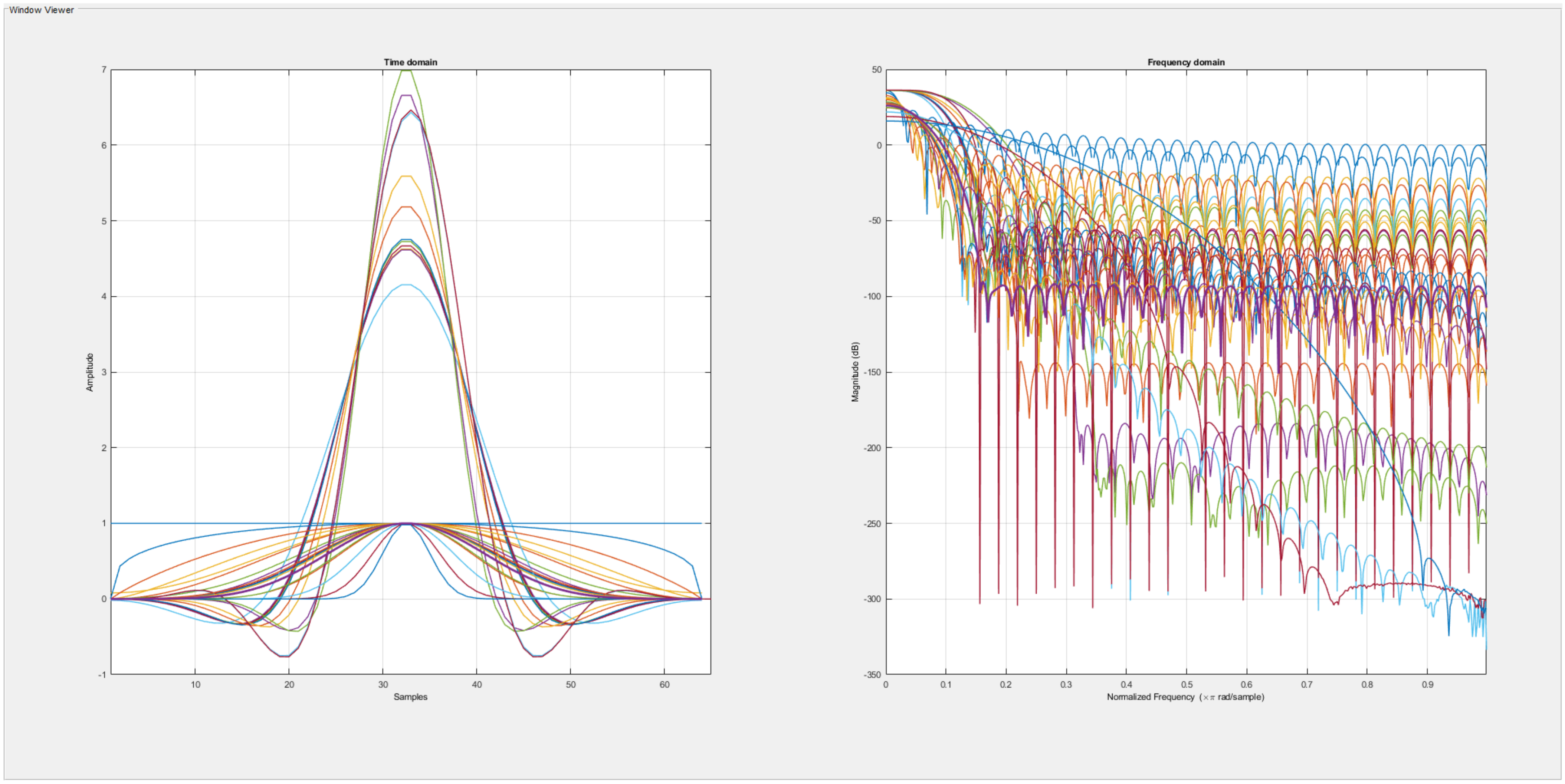
JANELAMENTO

- Janelas Flat-Top:



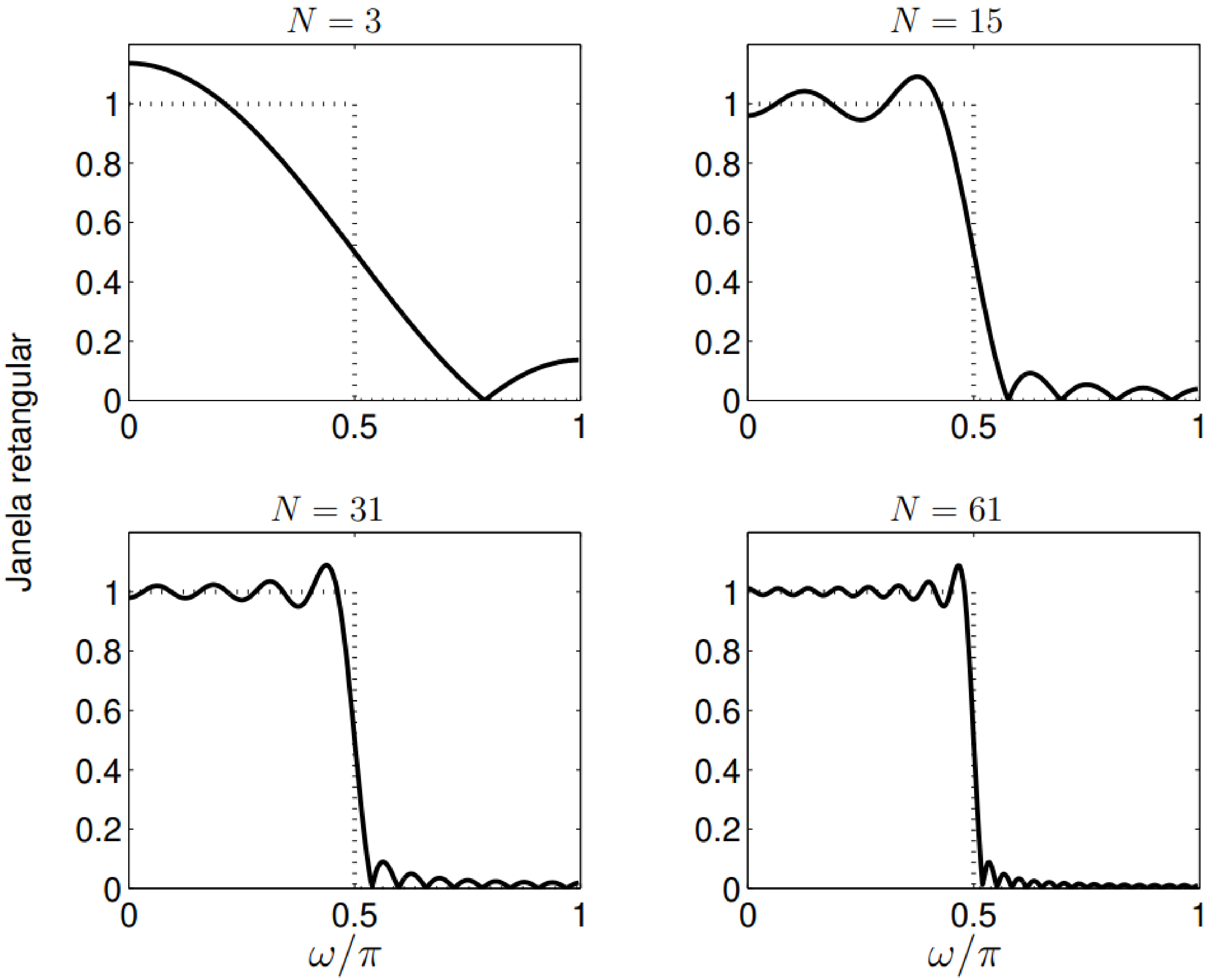
JANELAMENTO

- Todas as janelas mostradas simultaneamente:



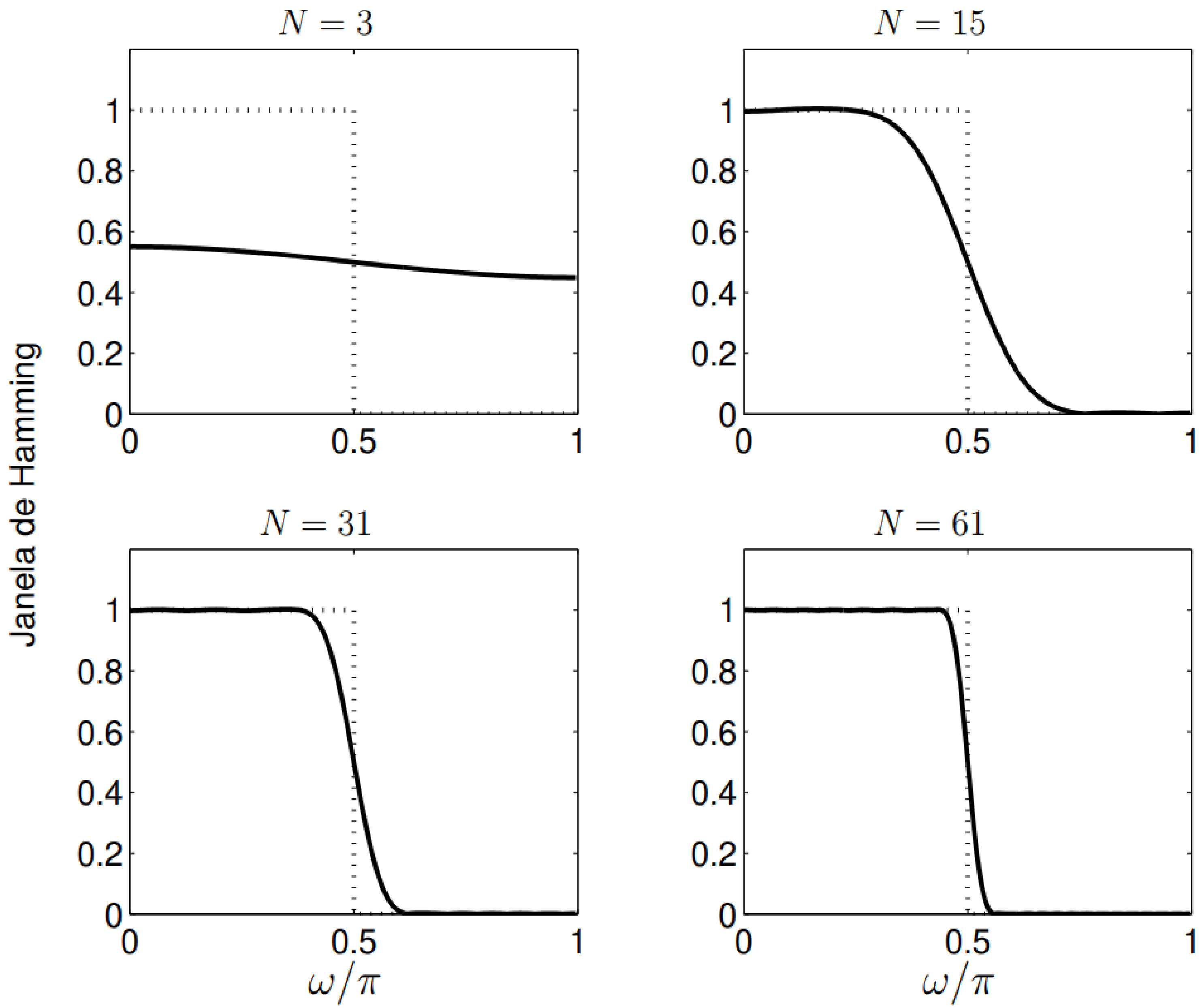
EFEITO DO JANELAMENTO EM FREQUÊNCIA

- JANELA RETANGULAR



EFEITO DO JANELAMENTO EM FREQUÊNCIA

JANELA DE HAMMING



EFEITO DO JANELAMENTO EM FREQUÊNCIA

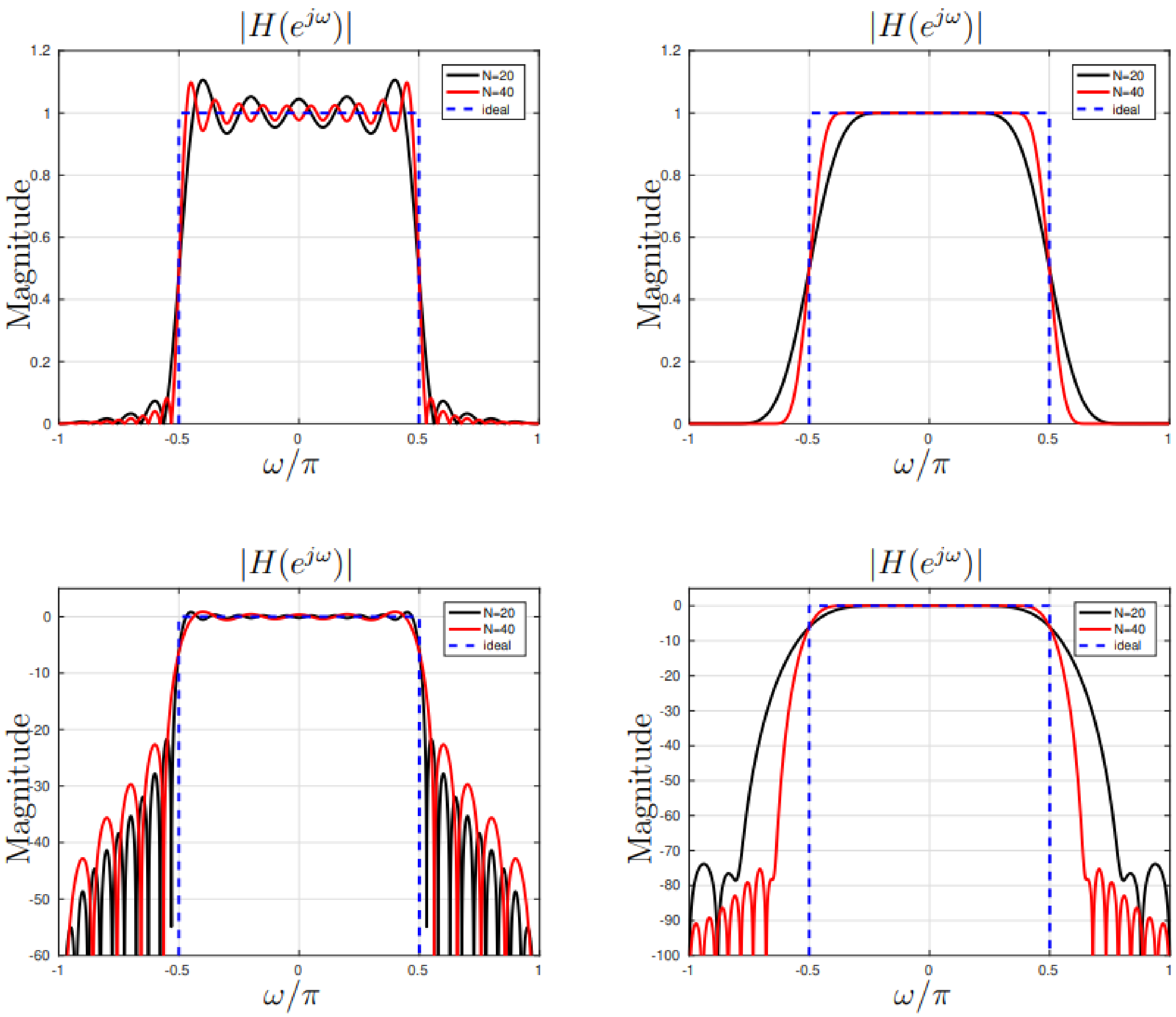
COMPARAÇÃO:

JANELAS RETANGULAR

(ACIMA) E

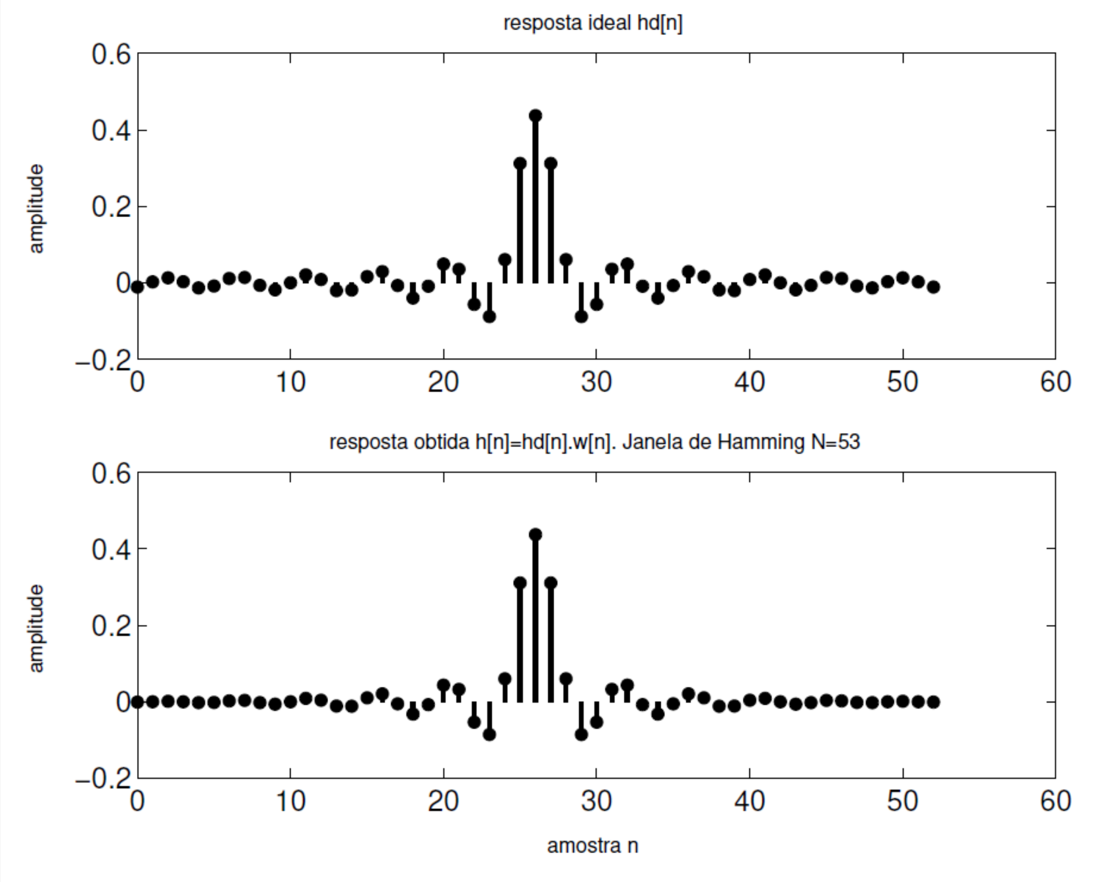
BLACKMAN

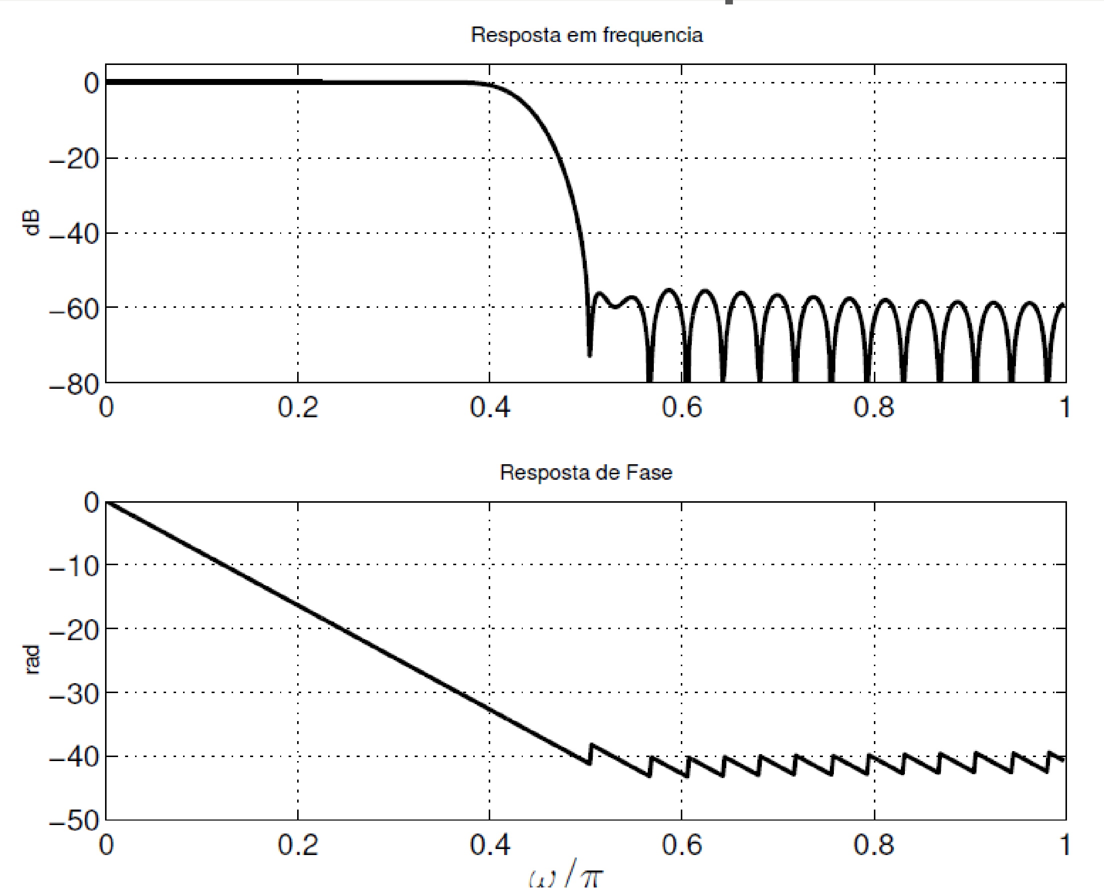
(ABAIXO



FILTRO PASSA-BAIXAS JANELA DE HAMMING

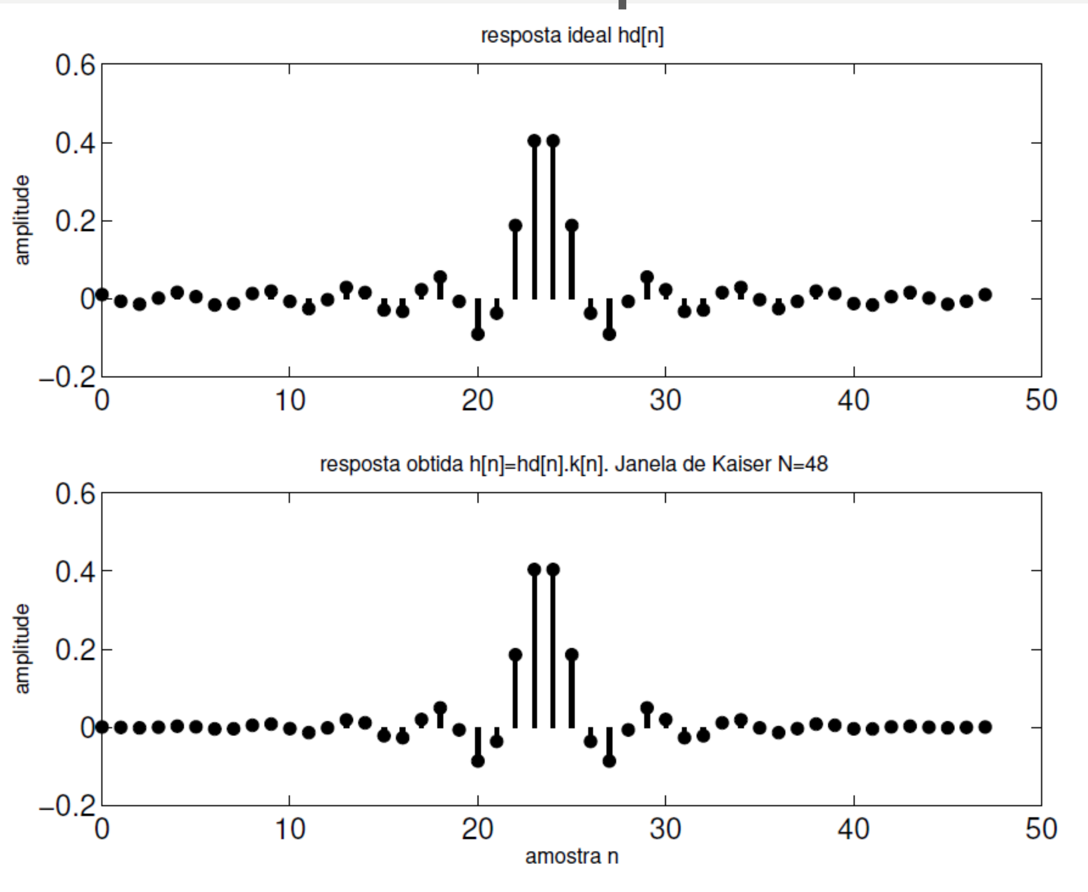
- Domínio do tempo
- Domínio das frequências



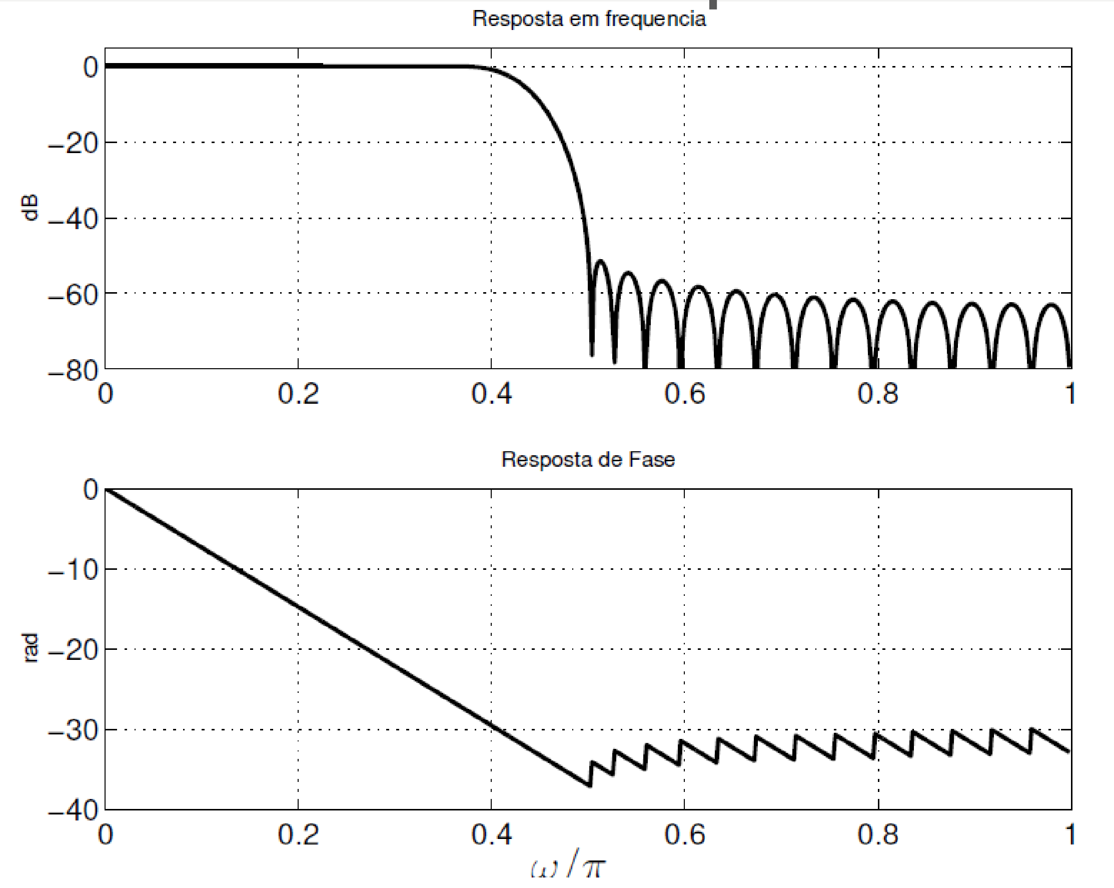


FILTRO PASSA-BAIXAS JANELA DE KAISER

- Domínio do tempo



- Domínio das frequências



PROJETO DE FILTROS POR AMOSTRAGEM EM FREQUÊNCIA

- Deseja-se projetar $H\left(e^{j\omega}\right)$:

$$H\left(e^{j\omega}\right) \longrightarrow H[k] = H\left(e^{j\omega}\right)\Big|_{\omega=\omega_{\mathrm{k}}}$$

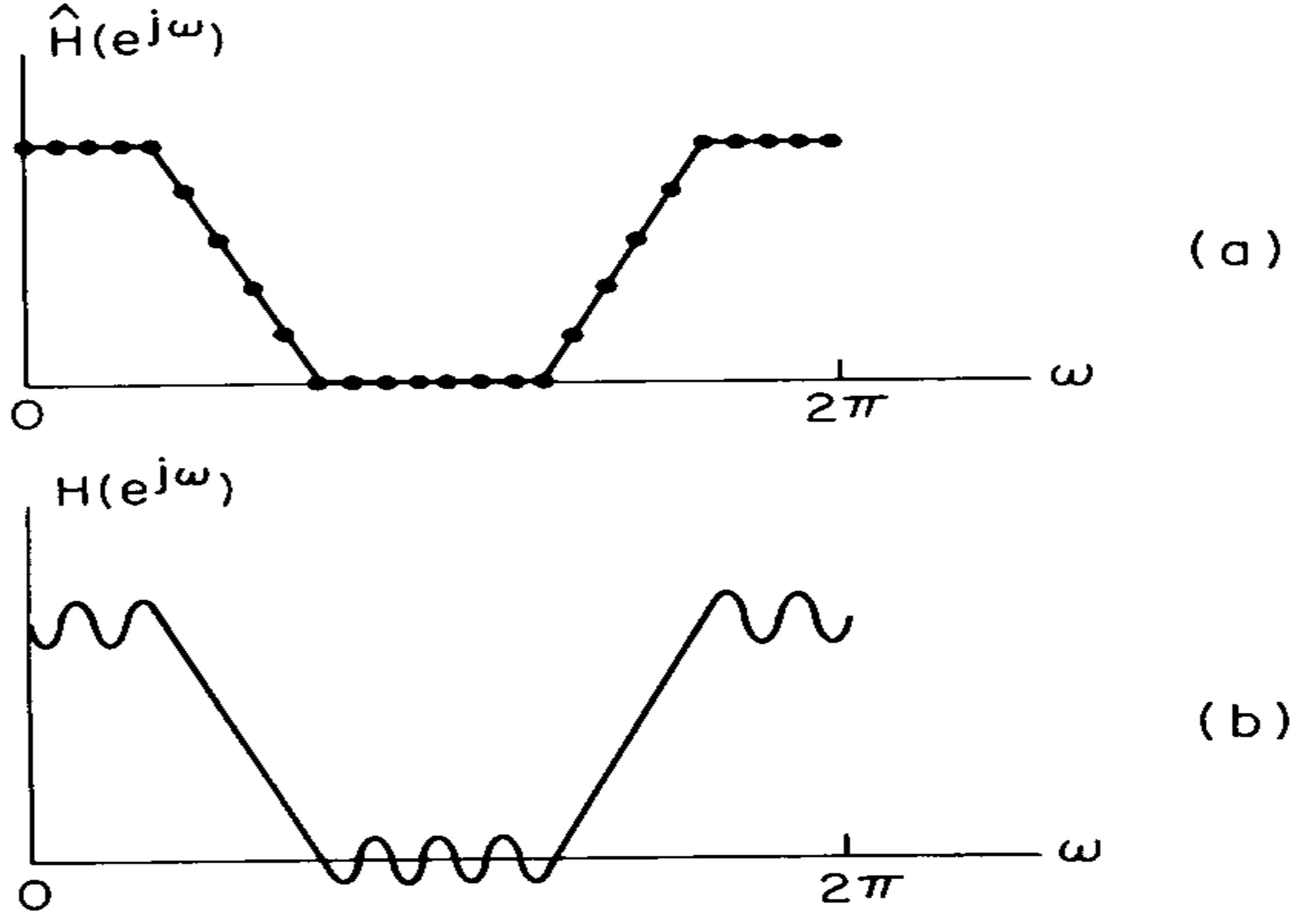
$$\updownarrow DFT^{-1}$$

$$\hat{h}[n] \overset{DTFT}{\longleftrightarrow} \hat{H}\left(e^{j\omega}\right) \approx H\left(e^{j\omega}\right) \Rightarrow$$

- O $h[n]$final é obtido após a multiplicação por uma janela :

$$h[n] = \hat{h}[n]w[n]$$

Projeto de Filtros por amostragem em frequência



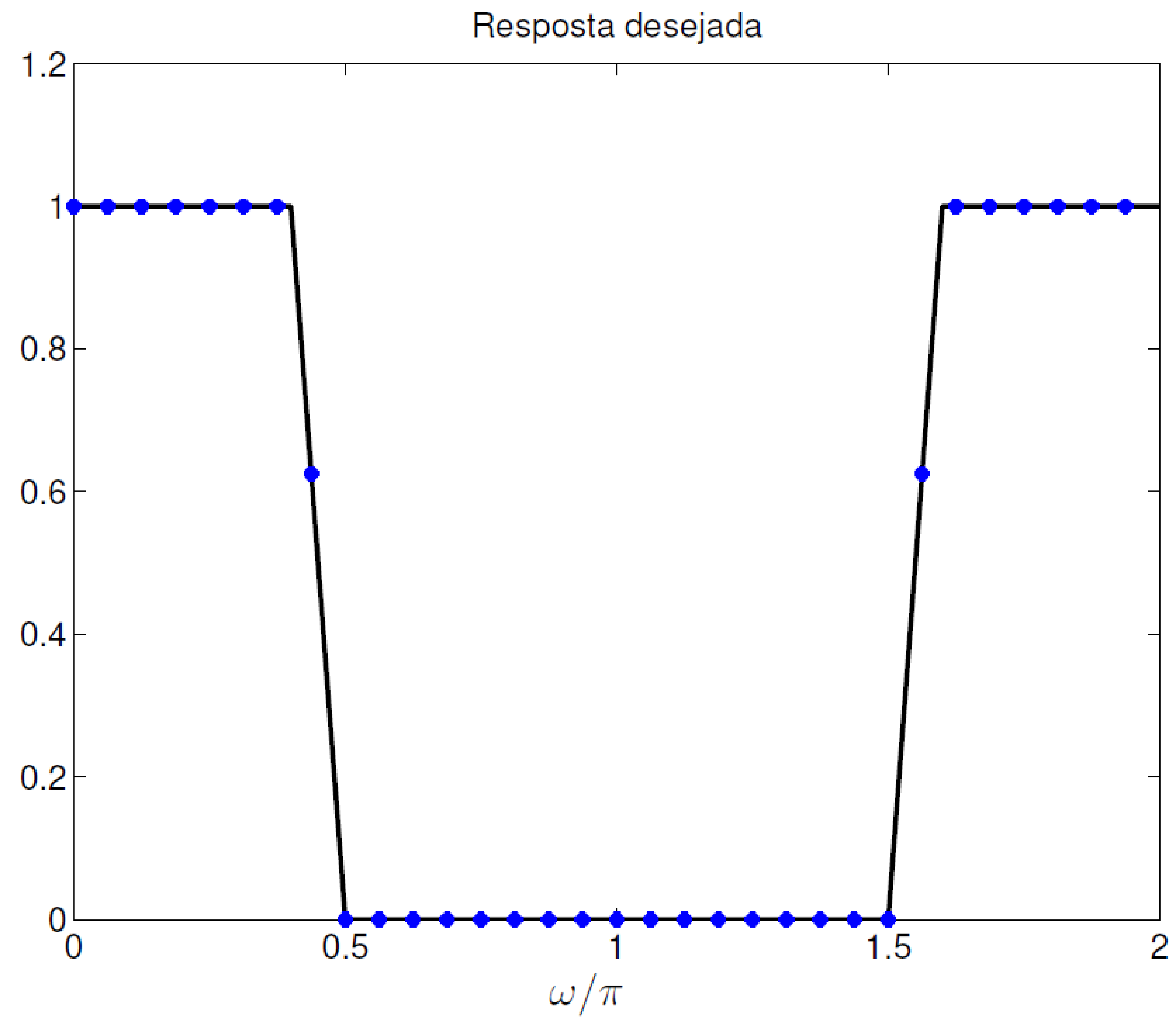
Explanation of frequency sampling.

PROJETO DE FILTROS POR AMOSTRAGEM EM FREQUÊNCIA

- Exemplo:

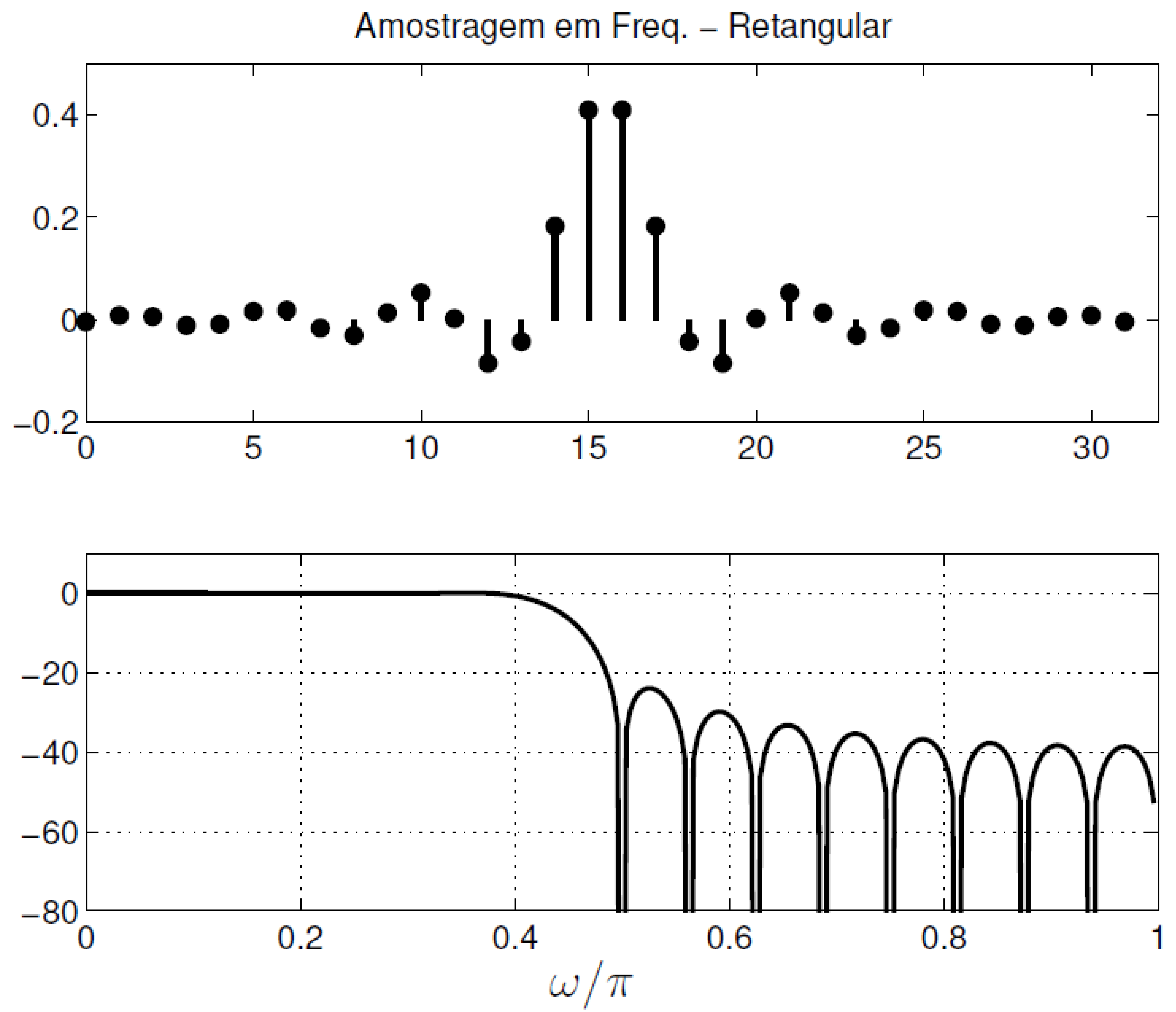
  Passa-Baixas

  N =32



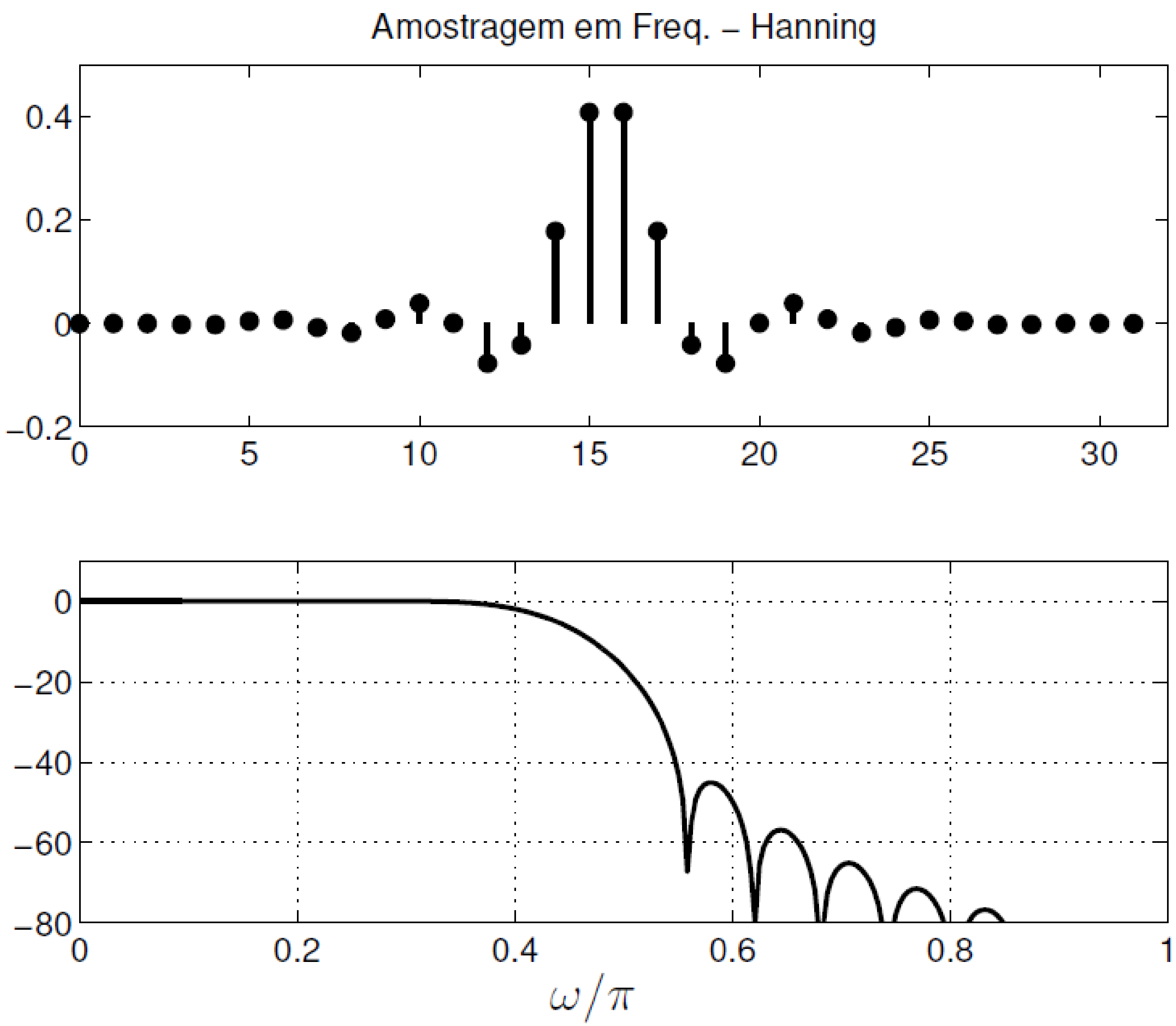
PROJETO DE FILTROS POR AMOSTRAGEM EM FREQUÊNCIA

- Exemplo: Passa-Baixas N =32 – Janela Retangular

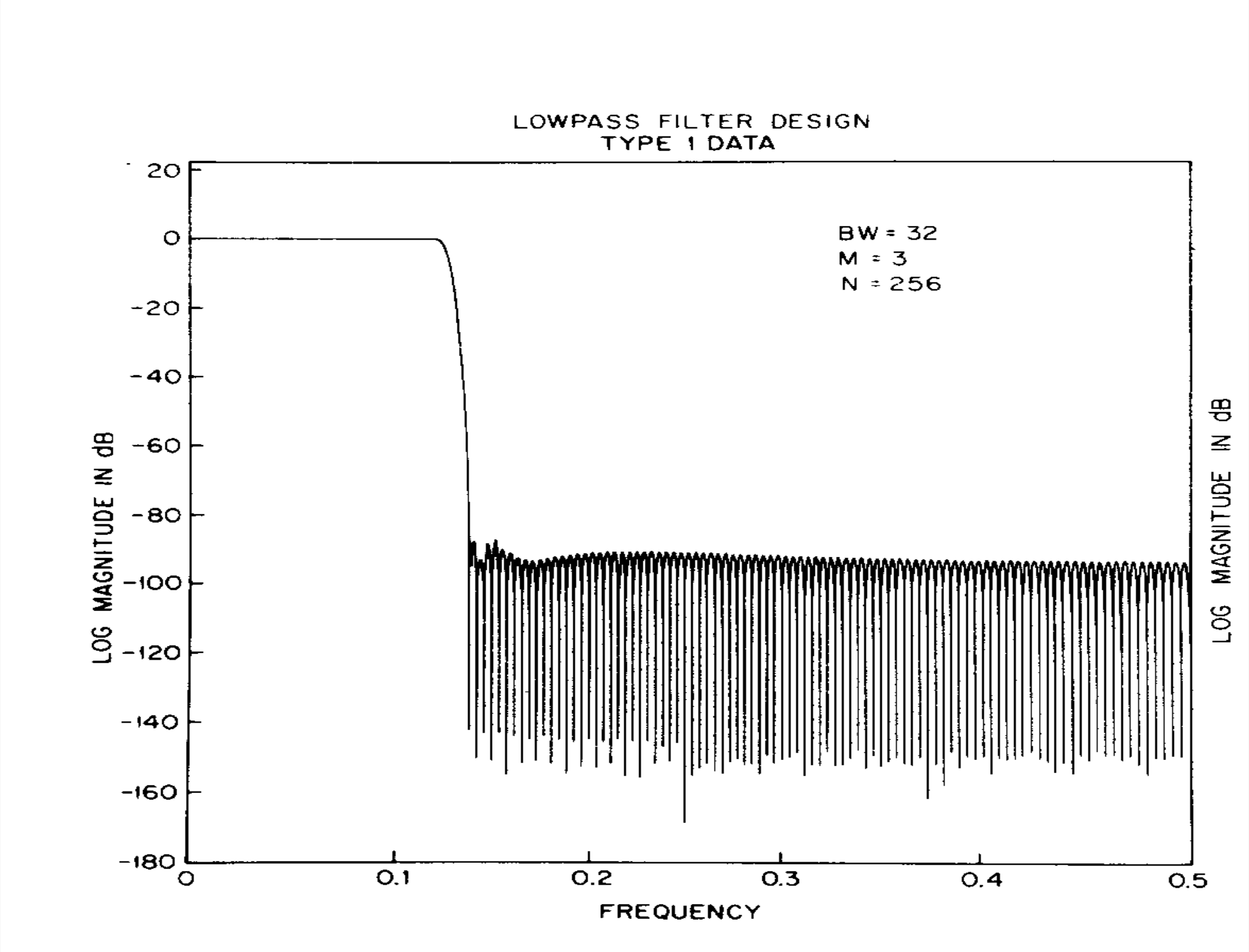


PROJETO DE FILTROS POR AMOSTRAGEM EM FREQUÊNCIA

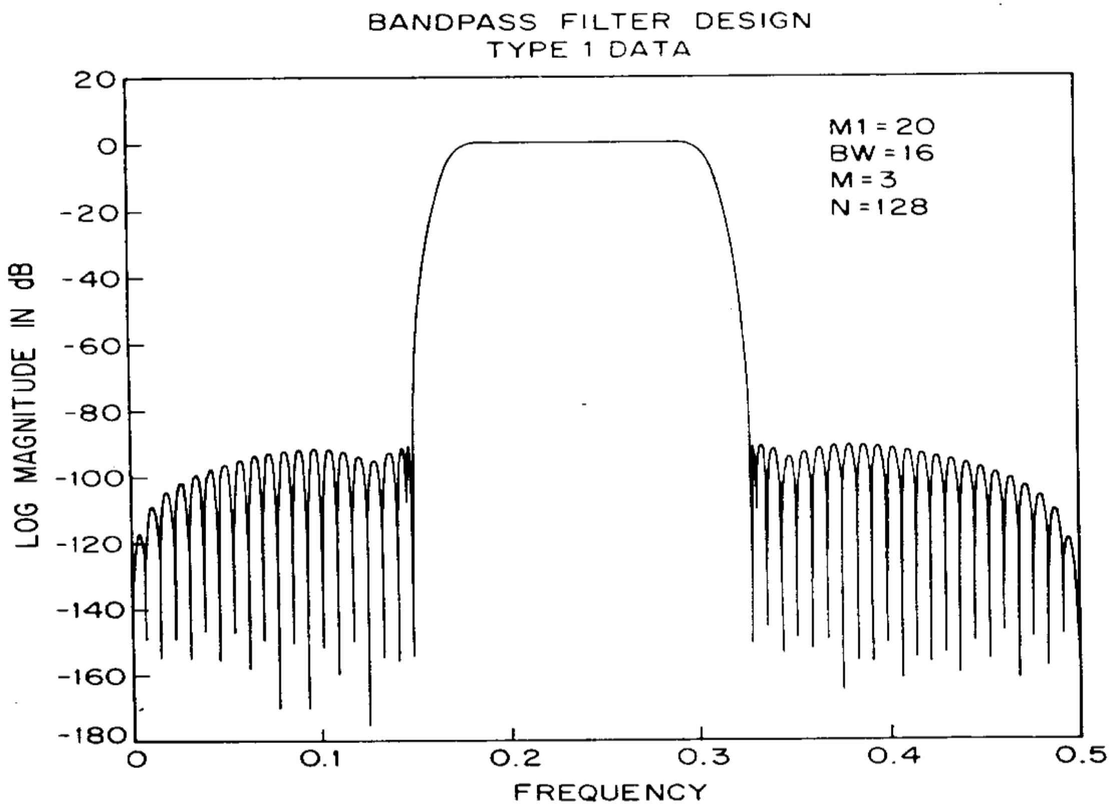
- Exemplo: Passa-Baixas N =32 – Janela Retangular



Exemplo de projeto de filtro digital por amostragem em frequência – Passa Baixas



Exemplo de projeto de filtro digital por amostragem em frequência – Passa Banda



Frequency response of a frequency sampling bandpass filter.


FIM DO MÓDULO 8