

PROBLEMA 02:

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS FIR PELO MÉTODO DE JANELA

TEC513 - MI - PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Aurelio Barreto
aurelionadjabarreto@gmail.com

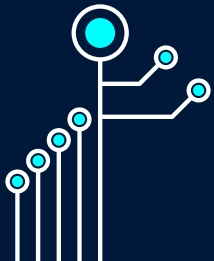
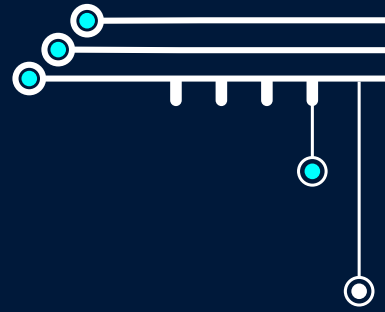
Kevin Gomes
kevingomes.uefs@gmail.com

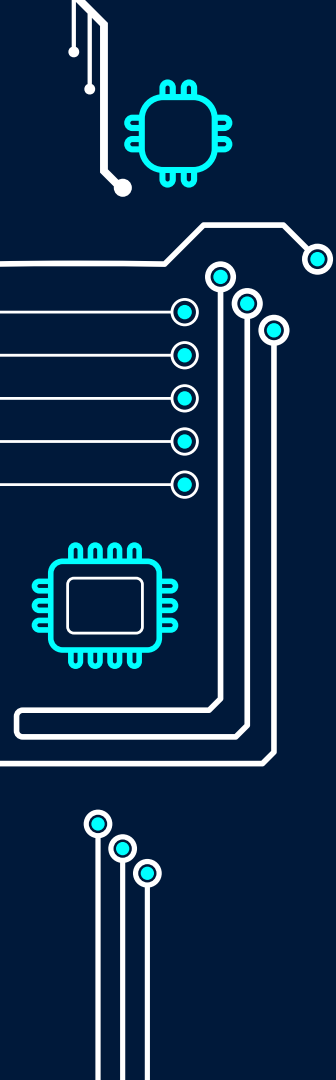
Roberto Maia
romaiajr5@gmail.com



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO;
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA;
3. METODOLOGIA
4. RESULTADOS
5. CONCLUSÃO





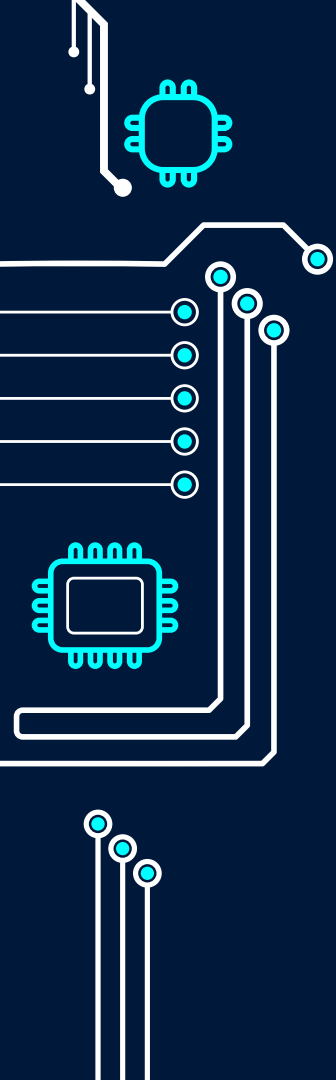
1. INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO

- **Contextualização**
 - Importância da filtragem de sinais no processamento digital;
 - Aplicações da filtragem de sinais em comunicação e análise de áudio;
 - Vantagens dos filtros FIR, como estabilidade e resposta em fase linear.
- **Objetivo do Estudo**
 - Explorar a eficácia de várias funções-janela na implementação de filtros FIR;
 - Foco em sinais de voz.
- **Método de Janela**
 - Explicação breve sobre o método de janela;
 - Funções-janela populares: Retangular, Hamming, Hanning, Blackman e Kaiser.
- **Implementação e Validação**
 - Uso de Octave para implementações;
 - Avaliação prática através de testes com sinais de voz amostrados;
 - Discussão sobre eficiência espectral e quantidade de coeficientes.



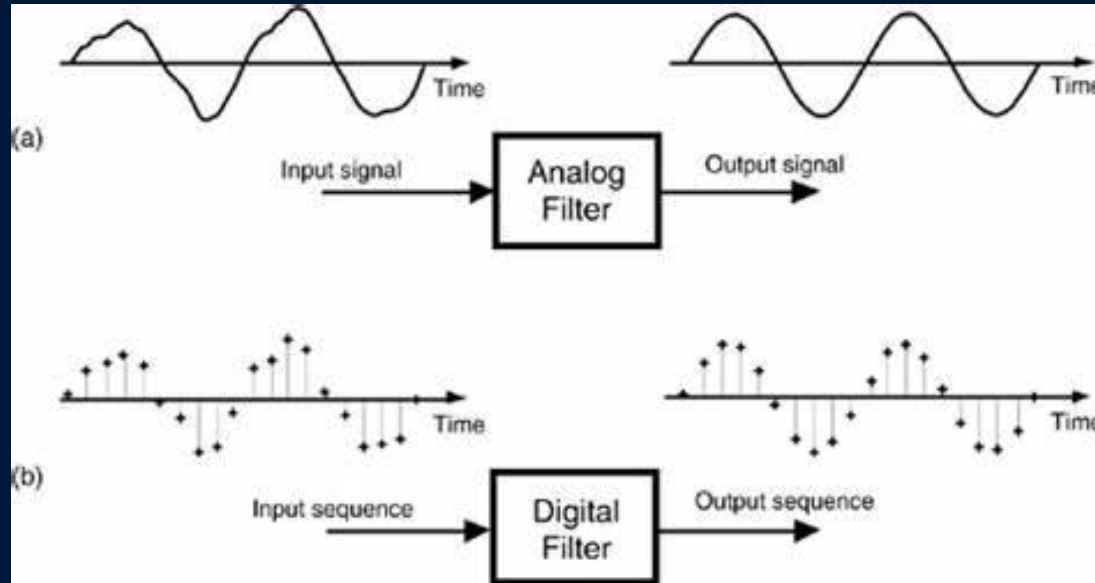


2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



FILTROS FIR

- **Filtros FIR (Finite Impulse Response)**
 - Definição e características principais.
 - Vantagens: estabilidade incondicional e resposta linear de fase.





FUNÇÕES JANELAS

- **Janela Retangular**

- Lóbulos altos -> maior ripple na PB e SB

$$w[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N - 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Fonte: Autor

- **Janela de Hamming**

- Atenuação dos lóbulos -> menor ripple

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos \left(\frac{2\pi n}{N - 1} \right), \quad 0 \leq n \leq N - 1$$

Fonte: Autor





FUNÇÕES JANELAS

- **Janela de Hanning (ou Hann)**

- Suavização das bordas -> reduz ainda mais a atenuação dos lóbulos

$$w[n] = 0.5 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \right), \quad 0 \leq n \leq N-1$$

$$w[n] = 0.42 - 0.5 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) + 0.08 \cos \left(\frac{4\pi n}{N-1} \right),$$
$$0 \leq n \leq N-1$$

Fonte: Autor





FUNÇÕES JANELAS

- Janela de Blackman

$$w[n] = 0.42 - 0.5 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) + 0.08 \cos \left(\frac{4\pi n}{N-1} \right),$$
$$0 \leq n \leq N-1$$

Fonte: Autor





FUNÇÕES JANELAS

- Janela de Bartlett (ou Triangular):

$$w[n] = \begin{cases} \frac{2n}{N-1}, & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 2 - \frac{2n}{N-1}, & \frac{N-1}{2} < n \leq N-1 \end{cases}$$

Fonte: Autor





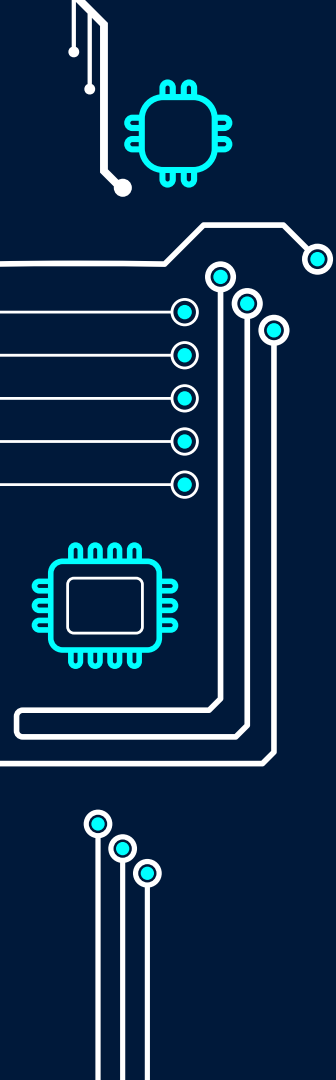
FUNÇÕES JANELAS

- Janela de Kaiser

$$w[n] = \frac{I_0 \left(\pi \beta \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1} - 1 \right)^2} \right)}{I_0(\pi \beta)}, \quad 0 \leq n \leq N - 1$$

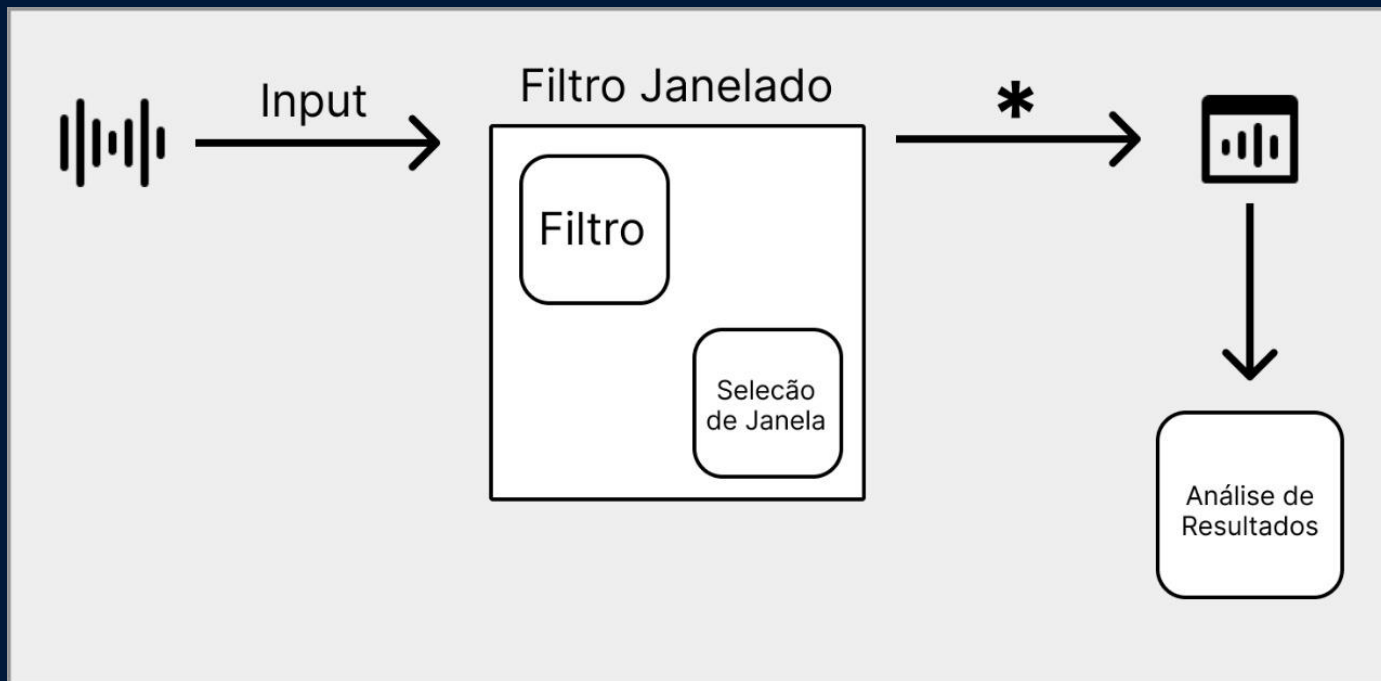
Fonte: Autor





3. METODOLOGIA

VISÃO GERAL

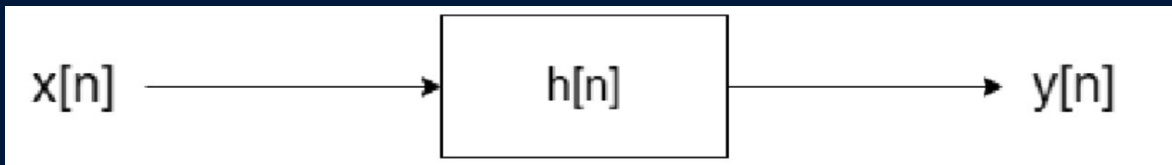


Fonte: Autor



PROCESSO DE FILTRAGEM

- **Definição de Filtragem:**
 - Remoção de elementos de frequência, como ruídos, ou equalização de um sinal.
- **Diagrama de Filtragem:**



Fonte: Autor

- **Operação de Convolução:**

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

$$Y(e^{j\Omega}) = X(e^{j\Omega}) \cdot H(e^{j\Omega})$$

Fonte: Autor





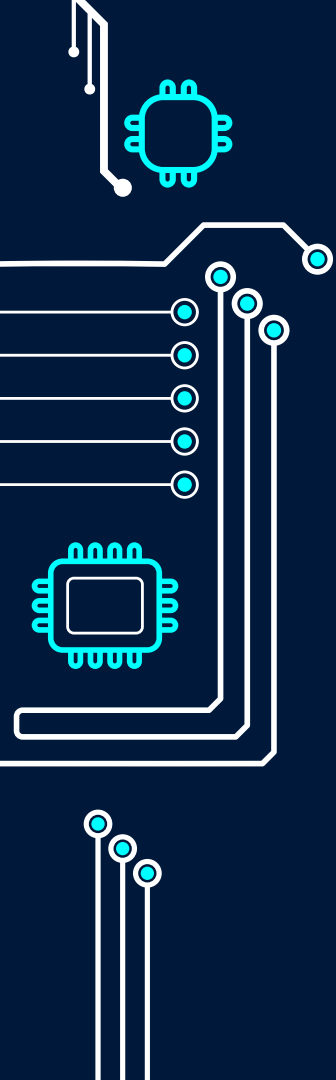
PROJETO DE FILTRO FIR POR JANELAMENTO

- Truncando $d[n]$

$$h_d[n] = d\left[n - \frac{M}{2}\right]$$
$$h_d[n] = \frac{\text{sen}\left(\left(n - \frac{M}{2}\right) \cdot \Omega_{cN}\right)}{\pi\left(n - \frac{M}{2}\right)}$$

$$h[n] = h_d[n] \cdot w[n]$$
$$DTFT\{h[n]\} = DTFT\{h_d[n] \cdot w[n]\}$$
$$H(e^{j\Omega}) = H_d(e^{j\Omega}) * W(e^{j\Omega})$$

$$w[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & c.c. \end{cases}$$



4. RESULTADOS



CONFIGURAÇÕES DO FILTRO PASSA BAIXA

- **Parâmetros:**

- Frequência de passagem: $f_p = 1500$ Hz
- Frequência de rejeição: $f_s = 2000$ Hz
- Frequência de amostragem: $F_a = 44100$ HZ
- Faixa de transição: $f_t = f_r - f_p \Rightarrow f_t = 500$ Hz
- Frequência de corte: $f_c = (f_r + f_p) / 2 \Rightarrow f_c = 1750$ Hz

- **Discretizar ($\omega = 2\pi f / f_s$)**

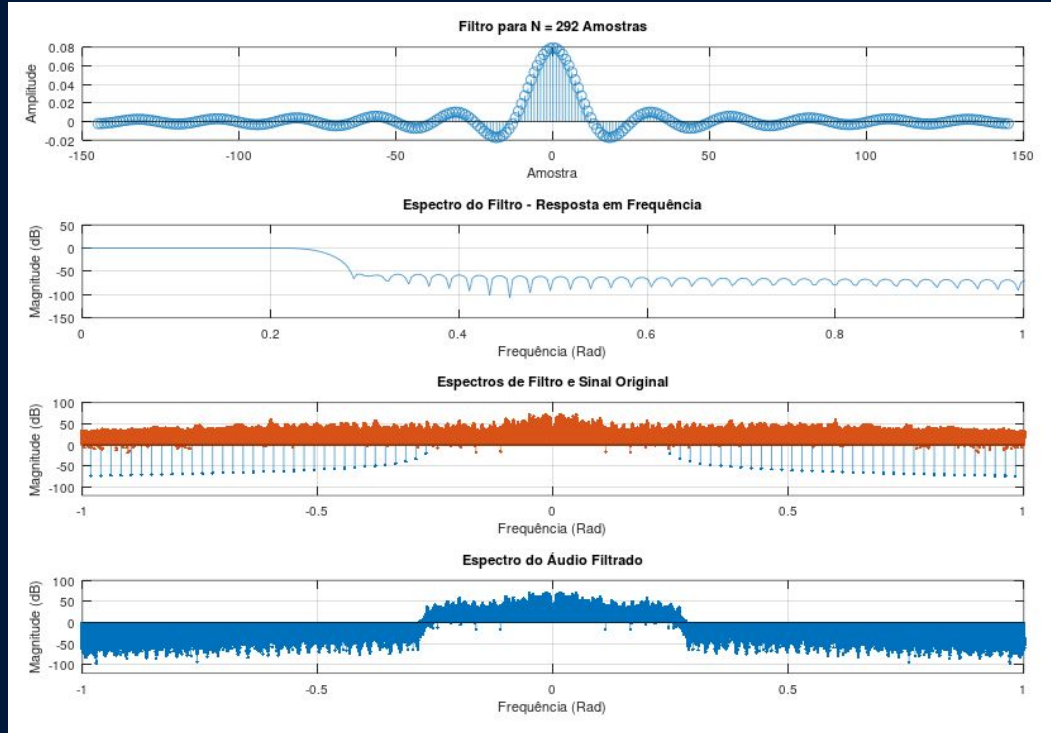
- $W_p = 2 * \pi * f_p / F_a = 0.213$ rad
- $W_s = 2 * \pi * f_s / F_a = 0.284$ rad
- $W_t = 2 * \pi * f_t / F_a = 0.0712$ rad
- $W_c = 2 * \pi * f_c / F_a = 0.249$ rad
- Tamanho da janela $N = const / (w_t / 2\pi)$
- Ordem do filtro: $M = N - 1$
- Frequência de amostragem: $F_a = 44100$ HZ

Janela	$\Delta\omega/2\pi$	R_p [dB]	R_s [dB]	LL [dB]	δ
Retangular	$0.9/N$	0.7416	21	13	0.089137
Hanning	$3.1/N$	0.0546	44	31	0.006306
Hamming	$3.3/N$	0.0194	53	41	0.002236
Blackman	$5.5/N$	0.0017	74	57	0.000196
Kaiser ($\beta = 4.54$)	$2.93/N$	0.0274	50	34	0.003156
Kaiser ($\beta = 6.76$)	$4.32/N$	0.0027	70	49	0.000316
Kaiser ($\beta = 8.96$)	$5.71/N$	0.000274	90	66	0.000031

Fonte: Material do Professor

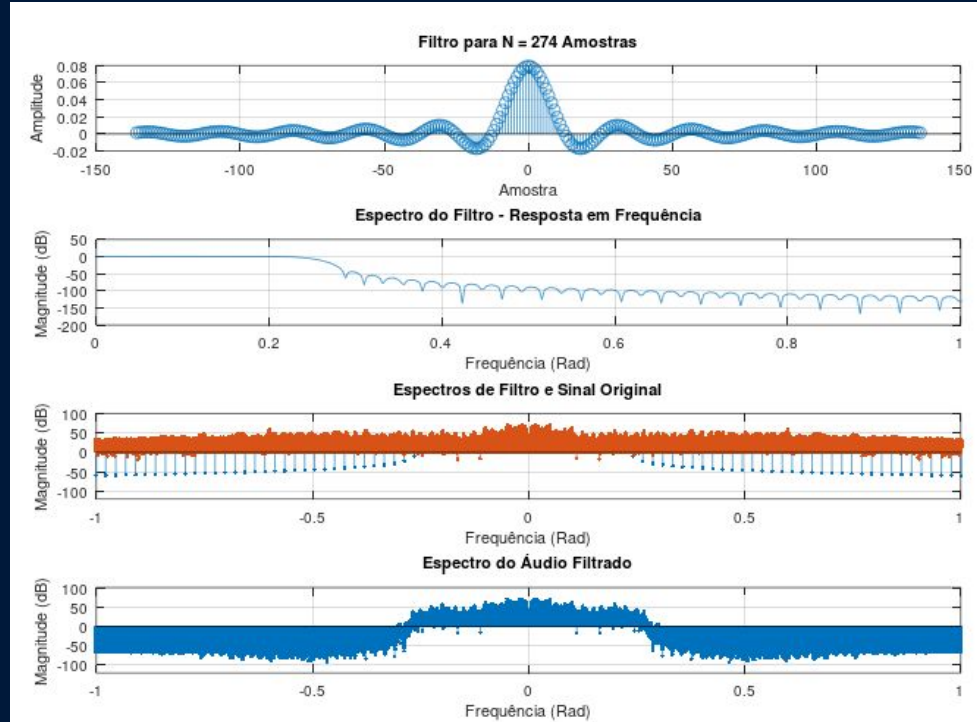


HAMMING (PB)





HANNING (PB)

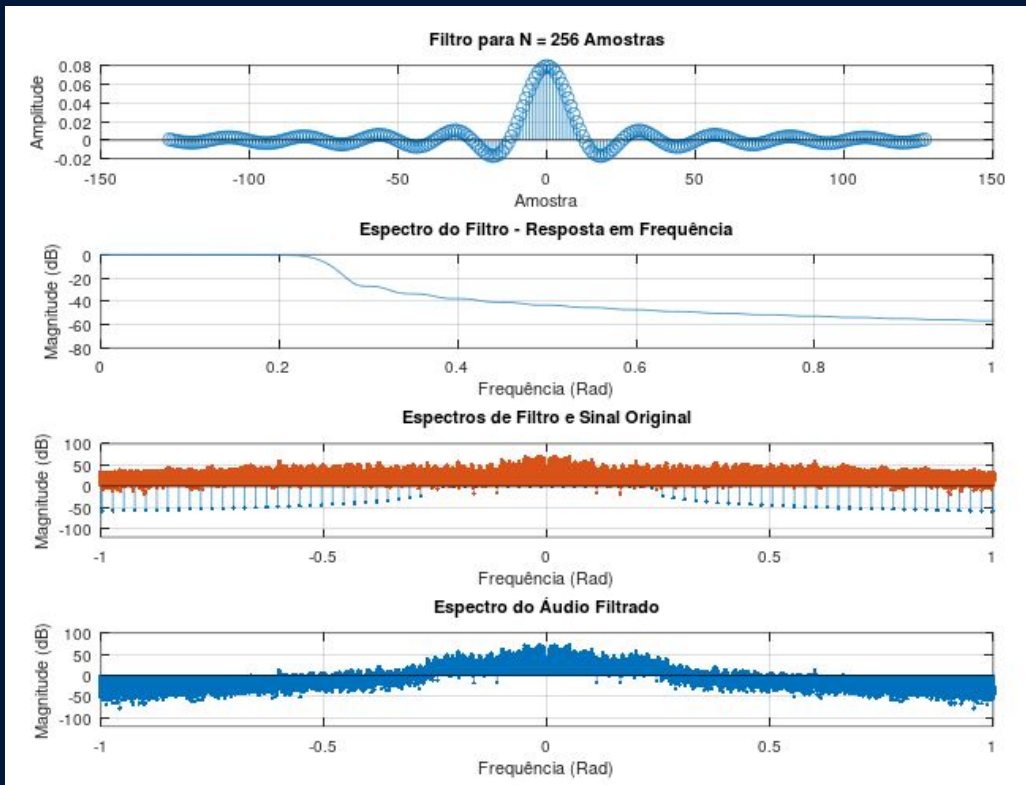


Fonte: Autor





BARTLETT (PB)

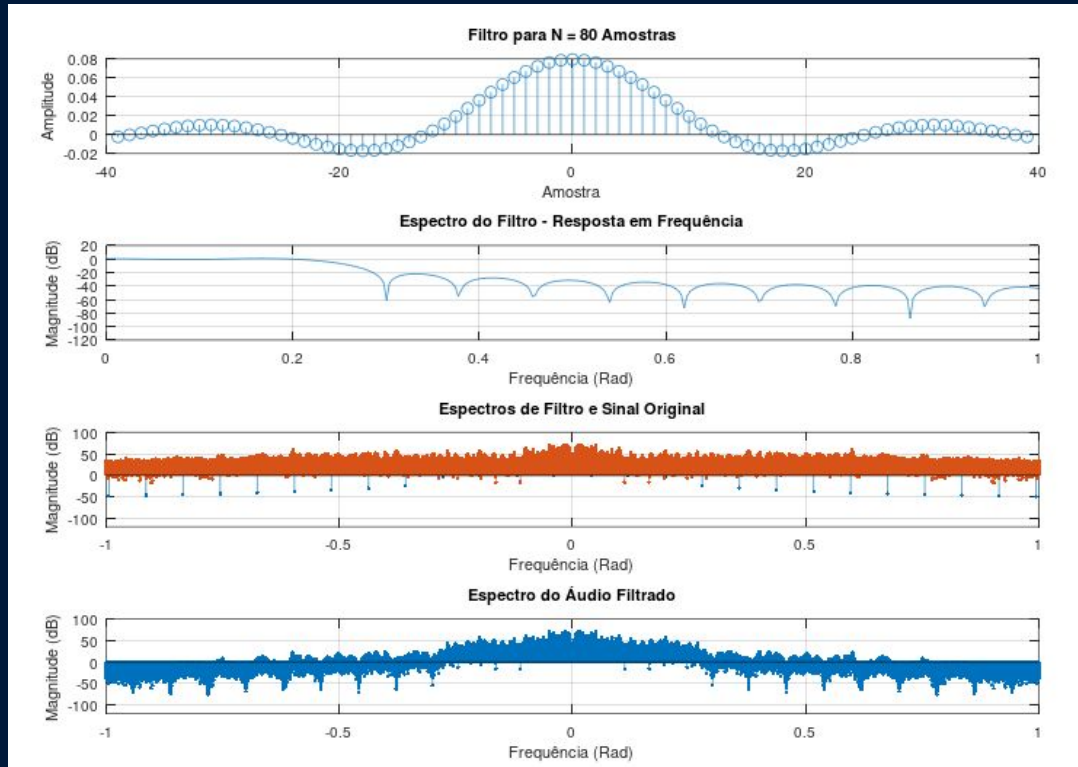


Fonte: Autor





RETANGULAR (PB)

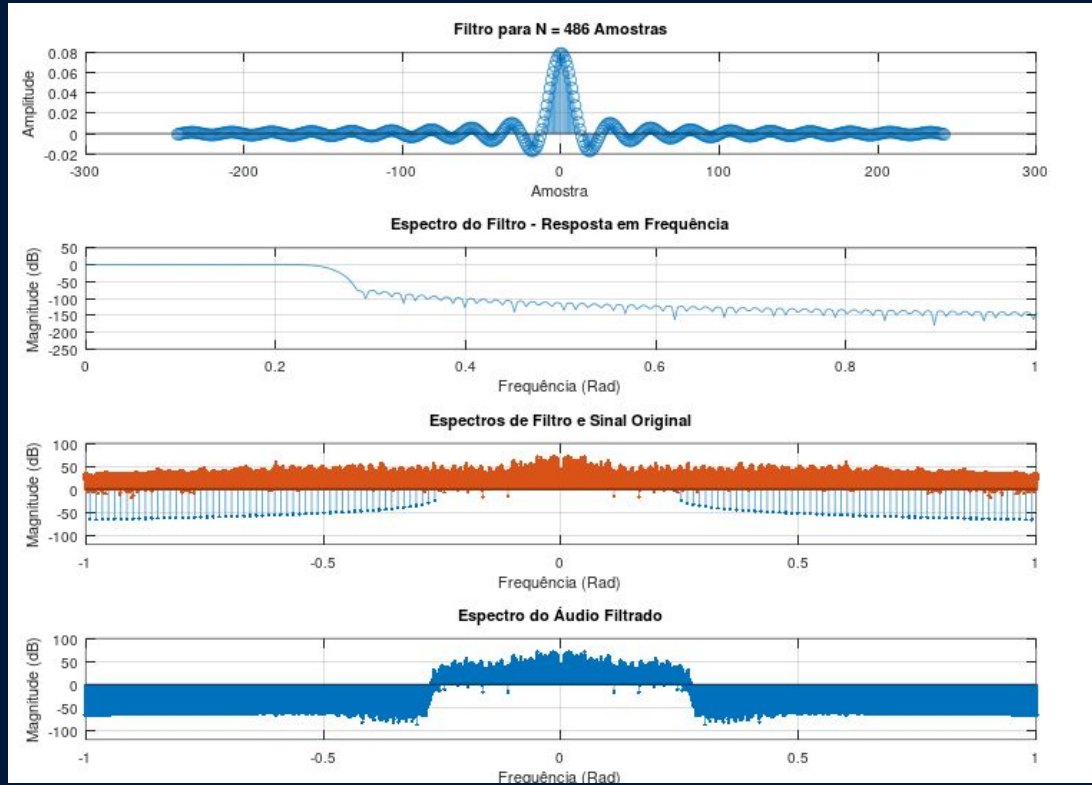


Fonte: Autor





BLACKMAN (PB)





ÁUDIOS (PB)



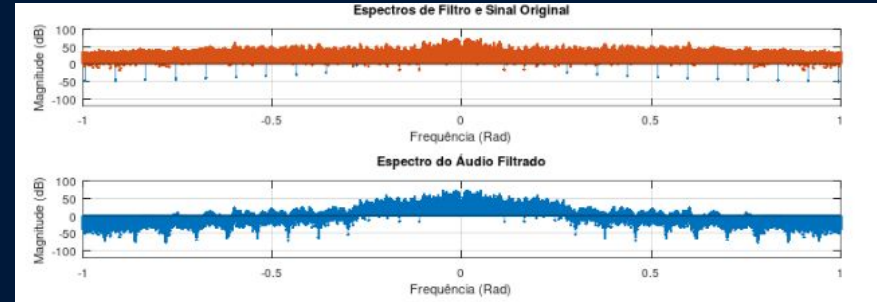
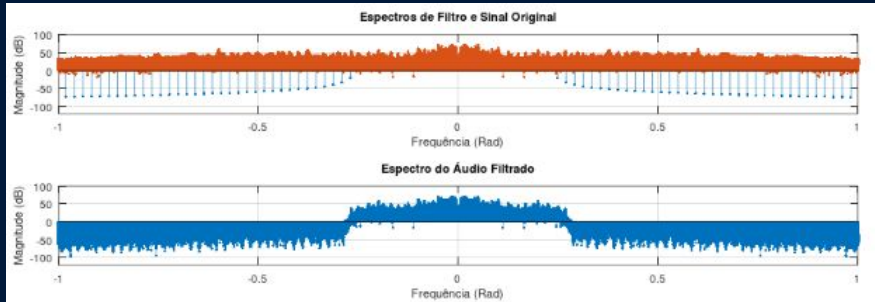
Aúdio Original



Aúdio Filtrado Hamming



Aúdio Filtrado Retangular



Fonte: Autor



CONFIGURAÇÕES DO FILTRO PASSA ALTA

- **Parâmetros:**

- Frequência de passagem: $f_p = 4500 \text{ Hz}$
- Frequência de rejeição: $f_s = 4000 \text{ Hz}$
- Frequência de amostragem: $F_a = 44100 \text{ Hz}$
- Faixa de transição: $f_t = f_r - f_p \Rightarrow f_t = 500 \text{ Hz}$
- Frequência de corte: $f_c = (f_r + f_p) / 2 \Rightarrow f_c = 4250 \text{ Hz}$

- **Discretizar ($\omega = 2\pi f / f_s$)**

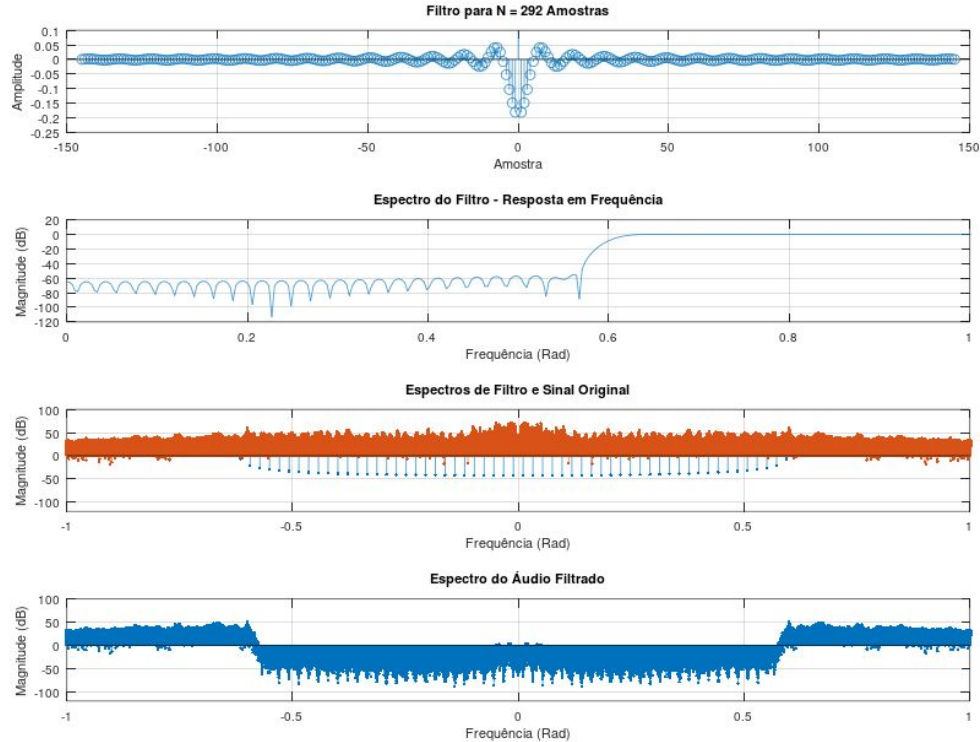
- $W_p = 2 * \pi * f_p / F_a = 0,693 \text{ rad}$
- $W_s = 2 * \pi * f_r / F_a = 0,569 \text{ rad}$
- $W_t = 2 * \pi * f_t / F_a = 0,071 \text{ rad}$
- $W_c = 2 * \pi * f_c / F_a = 0,605 \text{ rad}$
- Tamanho da janela $N = \text{const} / (w_t / 2\pi)$
- Ordem do filtro: $M = N - 1$
- Frequência de amostragem: $F_a = 44100 \text{ Hz}$

Janela	$\Delta\omega/2\pi$	R_p [dB]	R_s [dB]	LL [dB]	δ
Retangular	$0.9/N$	0.7416	21	13	0.089137
Hanning	$3.1/N$	0.0546	44	31	0.006306
Hamming	$3.3/N$	0.0194	53	41	0.002236
Blackman	$5.5/N$	0.0017	74	57	0.000196
Kaiser ($\beta = 4.54$)	$2.93/N$	0.0274	50	34	0.003156
Kaiser ($\beta = 6.76$)	$4.32/N$	0.0027	70	49	0.000316
Kaiser ($\beta = 8.96$)	$5.71/N$	0.000274	90	66	0.000031

Fonte: Material do Professor



HAMMING (PA)

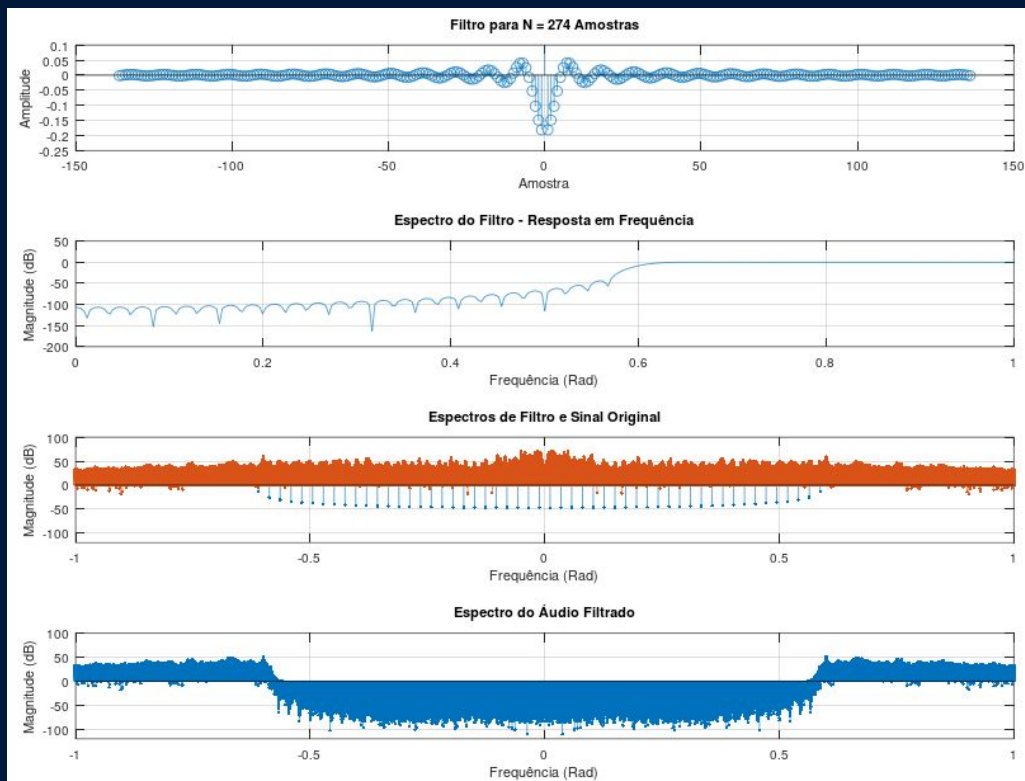


Fonte: Autor





HANNING (PA)

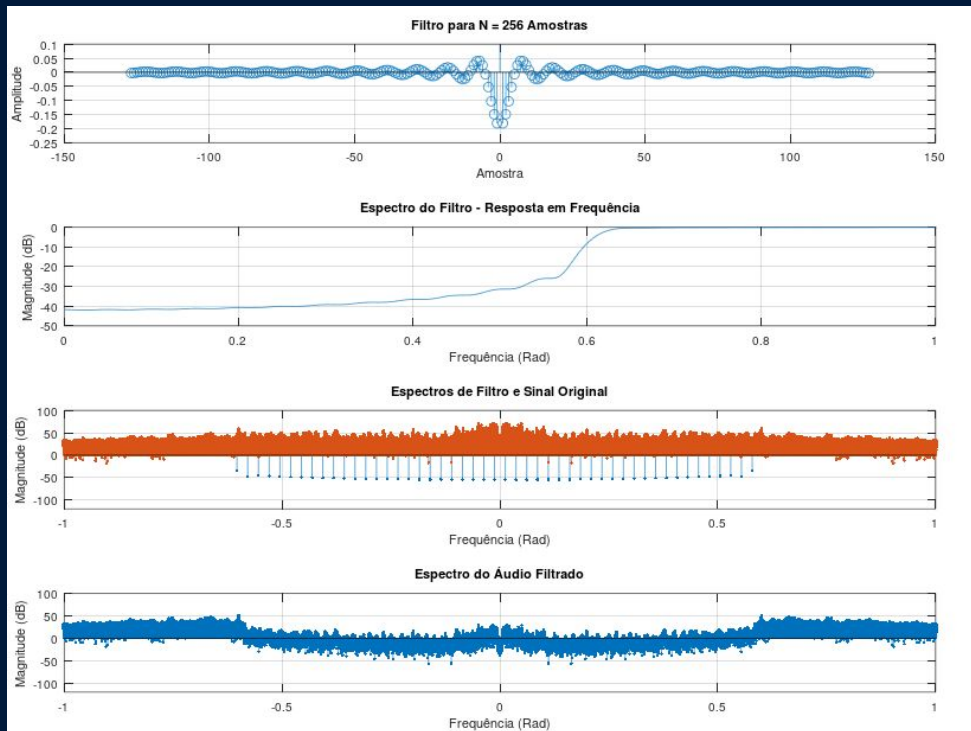


Fonte: Autor





BARTLETT (PA)

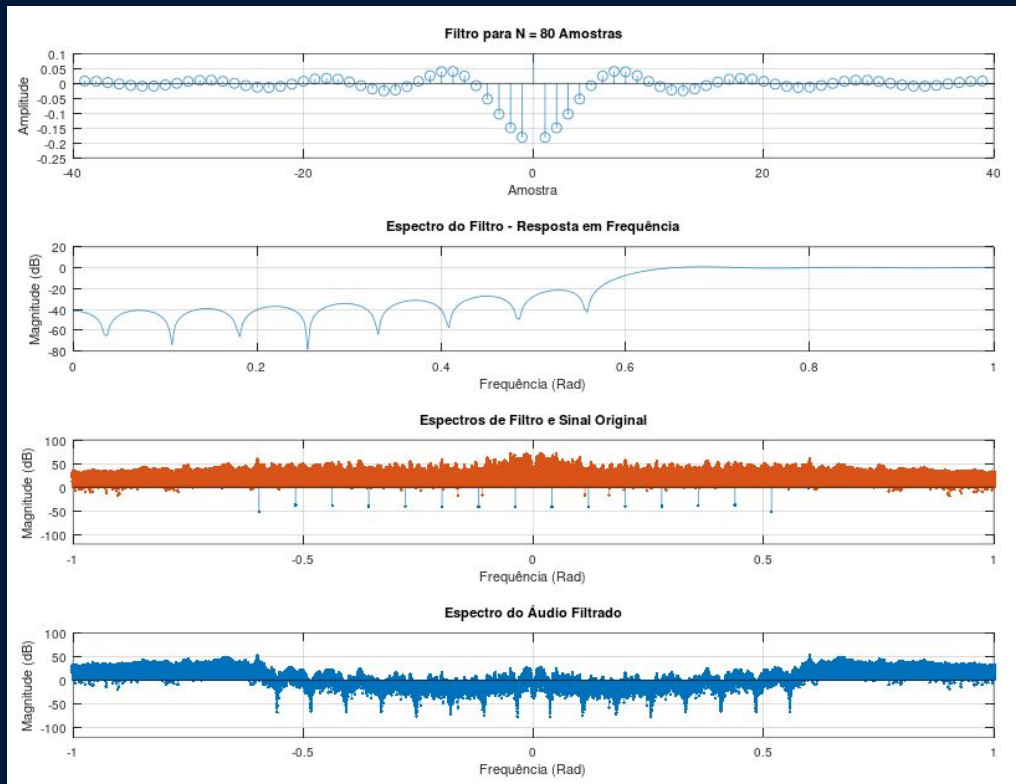


Fonte: Autor





RETANGULAR (PA)

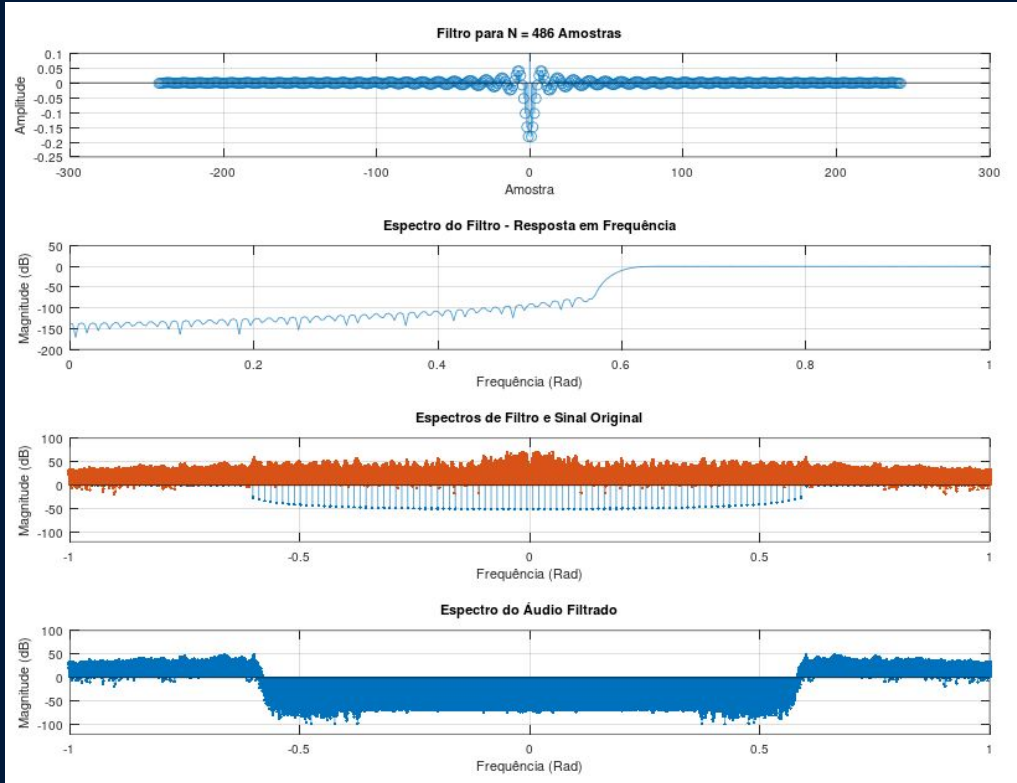


Fonte: Autor





BLACKMAN (PA)



Fonte: Autor





ÁUDIOS (PA)



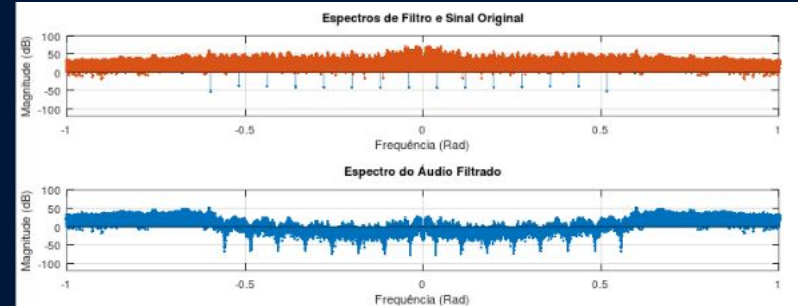
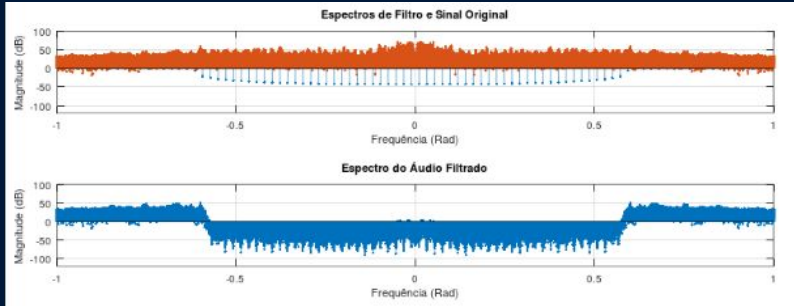
Aúdio Original



Aúdio Filtrado Hamming



Aúdio Filtrado Retangular



Fonte: Autor

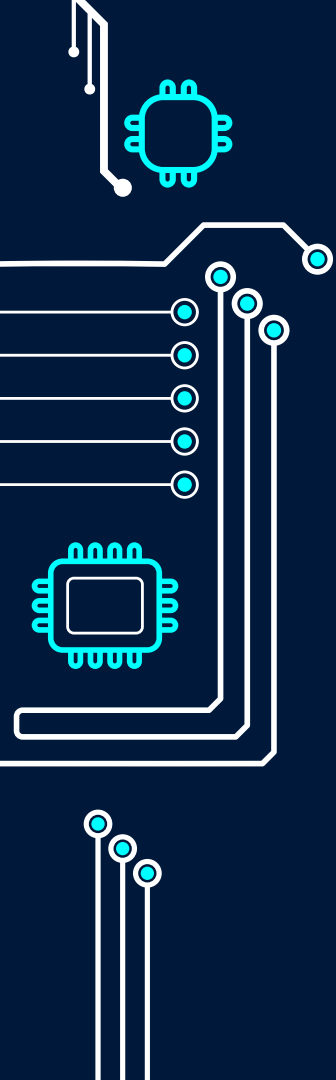




COMPARATIVO ENTRE AS JANELAS

	Resolução em Frequência	Supressão de Vazamento	Recomendação
Hamming	Moderada	Moderada	Geral
Hanning	Moderada	Moderada	Geral
Retangular	Alta	Baixa	Resolução Crítica
Blackman	Baixa	Alta	Supressão Crítica
Bartlett	Moderada	Moderada	Simplificação
Kaiser	Depende de β	Depende de β	Flexibilidade





5. CONCLUSÃO



CONCLUSÃO

- Escolha do melhor filtro;
- Escolha do N de amostras;
- Usos reais: Equalização de áudios;
- Considerações finais.




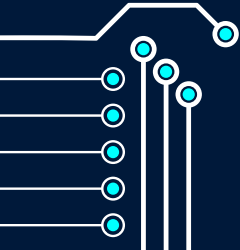


OBRIGADO

!

ALGUMA PERGUNTA?

CREDITS: This presentation template was created by **Slidesgo**, and includes icons by **Flaticon**, and infographics & images by **Freepik**



REFERÊNCIAS

OPPENHEIM, Alan V.; SCHAFER, Ronald W. **Processamento em tempo discreto de sinais**. Tradução Daniel Vieira. 3ª ed.-São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

