

Relatório : Processamento de Sinais Biomédicos (Acústicos)

Processamento Digital de Sinais

Alunos: Bruno Bertolino e Guilherme De Lazari

Data: 05/12/2025

1. Introdução e Objetivo

Este trabalho tem como objetivo aplicar técnicas de filtragem digital (FIR e IIR) para analisar sinais de emissão acústica provenientes de materiais sob estresse mecânico. Utilizamos o dataset LANL Earthquake Prediction.

O problema que tentamos resolver é o seguinte: o sinal bruto é extremamente ruidoso. Precisamos separar duas informações vitais que estão misturadas:

A tendência de tensão: O acumulo lento de pressão no material.

Os microeventos: Pequenas rupturas ("estalos") que acontecem milissegundos antes de uma falha maior.

2. Metodologia

Todo o processamento foi feito em Python (Google Colab), utilizando as bibliotecas `scipy.signal` para os filtros e `matplotlib` para visualização.

2.1. Preparação dos Dados

Selecionamos 10 arquivos da pasta de testes. Como a amplitude dos sinais variava, aplicamos uma normalização (Z-score). Isso centralizou o sinal em zero e deixou a amplitude em termos de desvio padrão, facilitando a comparação visual entre os filtros.

2.2. Configuração da Frequência

Seguindo a orientação do roteiro do trabalho, configuramos a frequência de amostragem em $F_s = 20$ kHz.

Isso significa que nossa frequência de Nyquist (o teto máximo que conseguimos analisar) é de 10 kHz.

Decisão de projeto: No começo, ficamos na dúvida sobre quais frequências de corte usar, já que os filtros de exemplo cortavam em frequências muito altas. Como o limite de Nyquist aqui era 10 kHz, tivemos que baixar bastante os cortes (para 500 Hz e 2500 Hz) para o filtro funcionar e não dar erro no Python

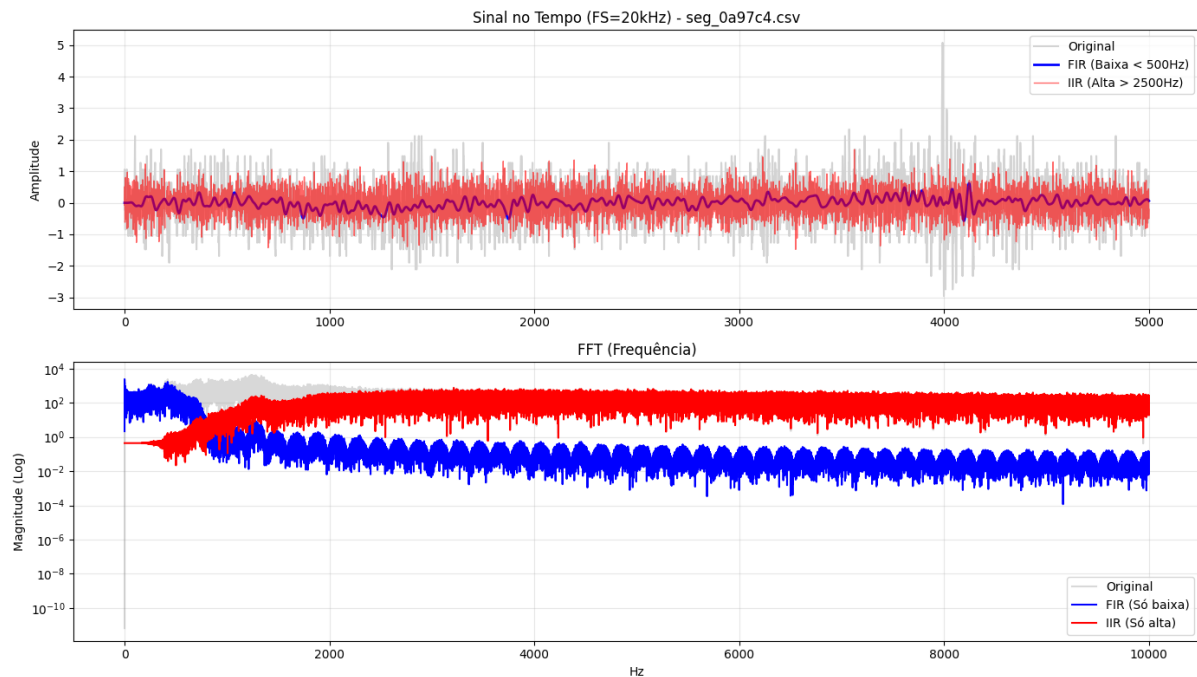
2.3. Projeto dos Filtros

Baseado no conteúdo das aulas, projetamos dois filtros distintos:

Tipo de Filtro	Configuração	Parâmetros	Objetivo
FIR (Finite Impulse Response)	Passa-Baixa (Low-Pass)	Janela: Hamming Ordem: 101 Corte: 500 Hz	Remover o ruído rápido e isolar a tendência lenta da onda.
IIR (Infinite Impulse Response)	Passa-Alta (High-Pass)	Tipo: Butterworth Ordem: 4 Corte: 2.500 Hz	Eliminar a vibração da máquina e deixar passar apenas os picos súbitos.

3. Resultados e Discussão

Abaixo, apresentamos a análise detalhada de um dos arquivos processados (seg_0a97c4.csv), que ilustra bem o comportamento dos filtros.



3.1. Análise no Domínio do Tempo (Gráfico Superior)

Ao observar o primeiro gráfico, notamos claramente o comportamento dos filtros sobre o sinal original (linha cinza ao fundo):

FIR (Linha Azul): Ele funcionou como um "suavizador". O filtro FIR (azul) limpou bem o sinal. Dá para ver que ele ignora aquele 'rabisco' rápido do ruído e mostra só se a onda está subindo ou descendo. A gente notou também que a linha azul está um pouco atrasada em relação à cinza, o que deve ser por causa da ordem alta do filtro (101).

IIR (Linha Vermelha): Ele manteve a textura "rabiscada" do sinal, preservando as variações rápidas, mas eliminou qualquer barriga ou onda lenta, mantendo o sinal centrado no zero.

3.2. Análise no Domínio da Frequência (Gráfico Inferior - FFT)

O gráfico da FFT foi fundamental para validarmos se os filtros estavam funcionando:

A linha azul (FIR) domina as frequências baixas (0 a 500 Hz) e depois mergulha, atenuando fortemente tudo o que é agudo.

A linha vermelha (IIR) faz o oposto: ela começa muito baixa perto de 0 Hz e sobe para encontrar o sinal original nas frequências acima de 2.500 Hz.

Existe um "buraco" entre 500 Hz e 2.500 Hz onde ambos os filtros atenuam o sinal, garantindo que separamos bem as bandas.

4. Respostas

Com base nos gráficos gerados, chegamos às seguintes conclusões:

Q1. O que o filtro FIR preserva e o que atenua?

O filtro FIR Passa-Baixa preservou a energia de baixa frequência, ou seja, a tendência macroscópica do sinal. Ele atenuou o ruído de alta frequência e os transientes rápidos. Visualmente, ele transformou um sinal caótico em uma linha de tendência legível.

Q2. O que o filtro IIR enfatiza no sinal?

O filtro IIR Passa-Alta enfatizou as transições bruscas e os eventos impulsivos. Ele removeu a componente DC (média) e as oscilações lentas da máquina, deixando em evidência apenas as vibrações rápidas que caracterizam o comportamento interno do material.

Q3. Quais diferenças importantes aparecem no domínio da frequência (FFT)?

Olhando a FFT, a diferença fica óbvia. O gráfico azul (FIR) fica alto só no começo (frequências baixas) e depois cai de uma vez. O vermelho (IIR) faz o contrário: começa lá embaixo e só sobe depois dos 2.500 Hz. Isso confirmou pra gente que os filtros estavam cortando nos lugares certos.

Q4. Há evidências de picos ou mudanças de padrão reveladas pelos filtros?

Sim, e isso foi o mais interessante. Olhando o gráfico de tempo perto da amostra 4000, existe um pico grande no sinal original (cinza).

O FIR (Azul) praticamente ignorou esse pico, continuando suave.

O IIR (Vermelho), no entanto, destacou esse pico com clareza.

Foi curioso ver que perto da amostra 4000, tem um pico enorme no sinal original. O filtro azul (FIR) passou direto e quase não mostrou nada, mas o filtro vermelho (IIR) deu um salto exatamente ali. Isso prova que o IIR é muito melhor para achar esses estalos repentinos que o FIR acaba escondendo.

Q5. Qual dos filtros se mostrou mais eficiente para destacar informações relevantes?

Para a finalidade deste dataset (previsão de terremotos/falhas), concluímos que o Filtro IIR Passa-Alta é o mais eficiente.

Justificativa: Os precursoros de falhas são eventos de alta frequência (estalos). Como vimos na amostra 4000, o filtro FIR esconde esses eventos, enquanto o IIR os destaca, limpando o ruído de fundo. O FIR é bom para monitoramento geral, mas o IIR é crucial para detecção de eventos críticos.

5. Conclusão Final

O trabalho demonstrou na prática a importância da escolha correta dos filtros. Ao ajustar as frequências de corte para respeitar o limite de Nyquist de 20 kHz, vimos na prática como o mesmo sinal pode mostrar coisas totalmente diferentes dependendo do filtro. Sem filtrar, parecia só ruído, mas depois deu para ver claramente a tensão acumulando (com o FIR) e os estalos de ruptura (com o IIR).

Link para o código:

<https://colab.research.google.com/drive/1dtepi8IT4EGR6qCDNSH6ErtQCnx6pkDG?usp=sharing>