

# EA614 - Análise de Sinais

## Exercício de Fixação de Conceitos (EFC) 4 – Amostragem

Turma A – 1º semestre de 2021

Prof: Levy Boccato Email: lboccato@dca.fee.unicamp.br

PED-C: Renan Del Buono Brotto Email: rbrotto@decom.fee.unicamp.br

## 1 Introdução

Conforme visto em sala de aula, o teorema da amostragem de Shannon-Nyquist fornece a taxa mínima com que um sinal de banda limitada deve ser amostrado de modo a permitir sua reconstrução. Nos casos em que taxas inferiores são utilizadas, surge o fenômeno denominado *aliasing*, comprometendo a reconstrução do sinal original. Neste exercício, estudaremos este fenômeno no contexto de um sinal de áudio, assim como uma maneira de atenuá-lo.

## 2 Atividades

- (a) Para carregar um arquivo de áudio no Matlab basta usar o comando `audioread`:

```
[y,Fs]=audioread('queen_I_want_it_all.wav');
```

Este comando retorna o sinal de áudio, `y`, e a frequência de amostragem, `Fs`. Note que `y` corresponde a uma matriz com `num_amostras` linhas e duas colunas, uma para cada canal de áudio. Apenas por simplicidade, vamos somar os dois canais para realizar o experimento:

```
y=y(:,1)+y(:,2);
```

Em Python existem diversas bibliotecas que permitem a leitura e o processamento de arquivos de áudio. Dois exemplos populares e poderosos são `librosa` e `soundfile`. Outra possibilidade é usar o SciPy, que tem grandes chances de já fazer parte de sua instalação de Python. Para isso, use os comandos

```
import scipy.io as sio
Fs, y = sio.wavfile.read('Queen_Under_Pressure.wav')
```

Talvez você receba um *Warning* ao fazer a leitura aqui. Isso está relacionado à forma como o arquivo foi gerado, e não tem impacto sobre o restante do experimento. Como em Matlab, `y` é um sinal estéreo, com dois canais. Para transformar em um sinal mono, como exigido para o experimento, execute o comando

```
y=y[:,0]+y[:,1]
```

*OBS.:* A taxa de amostragem tipicamente empregada em sinais de áudio (e.g., música) corresponde a 44,1 kHz.

- (b) Utilizando a rotina `espectro(y)` fornecida, mostre o espectro de frequências do sinal de áudio e discuta seu conteúdo espectral.
- (c) Reduza a taxa de amostragem por um fator de  $M = 6$ . Para isto, a cada bloco de  $M$  amostras, basta reter uma amostra de `y` e descartar as  $M - 1$  amostras seguintes. Matematicamente, a nova sequência gerada se relaciona com `y` da seguinte forma:

$$y_{\text{dec}}(n) = y(Mn). \quad (1)$$

Apresente o espectro do sinal subamostrado ( $y_{\text{dec}}(n)$ ) e discuta as mudanças em relação ao espectro do sinal original.

**Curiosidade:** este procedimento de redução da taxa de amostragem via processamento digital é conhecido como decimação.

- (d) Ouça, então, o sinal de áudio original e o subamostrado. Para isto, utilize o comando `soundsc` do Matlab:

`soundsc(z, Fs),`

onde  $F_s$  denota a taxa de amostragem associada ao sinal  $z$ . Comente as diferenças. Para ouvir o áudio em Python, use os comandos

```
import IPython.display as ipd
ipd.Audio(z,rate=Fs)
```

*OBS.:* Lembre-se que, após a decimação, a taxa de amostragem foi reduzida para  $F_s/M$ .

- (e) Uma maneira de minimizar o *aliasing* produzido pela subamostragem consiste em aplicar um filtro passa-baixas (FPB) sobre o sinal original antes da decimação. Um FPB próximo ao ideal pode ser construído com o auxílio do método da janela de Kaiser. Para este exercício, a rotina **kaiser** é fornecida, a qual recebe como parâmetros a frequência de passagem ( $\Omega_p$ ) e a frequência de rejeição ( $\Omega_r$ ), ambas em *rad* e retorna a resposta ao impulso do filtro (**h**). Apresente e discuta a resposta em frequência do filtro (utilizando a rotina **espectro(h)**) para os seguintes casos:
- $\Omega_p = 0.45$  [rad],  $\Omega_r = 2$  [rad];
  - $\Omega_p = 0.45$  [rad],  $\Omega_r = 0.5$  [rad];
  - $\Omega_p = 1.5$  [rad],  $\Omega_r = 2$  [rad].
- (f) Utilizando  $\Omega_p = 0.45$  [rad] e  $\Omega_r = 0.5$  [rad], filtre (novamente através da convolução) o sinal original. Apresente e discuta o espectro do sinal filtrado. Escute o sinal filtrado e analise os efeitos.
- (g) Subamostre o sinal obtido no item (f) (ou seja, o sinal pré-filtrado pelo FPB de Kaiser) por um fator  $M = 6$ . Compare o espectro obtido com aquele associado ao sinal original subamostrado (item (c)). Escute os sinais e discuta as diferenças. Lembre-se de fazer a correção na frequência de amostragem ao utilizar o comando **soundsc**.