



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EEL7522 - PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Projeto de Alteração de Taxa e Detecção de Tons

MATHEUS LENZI DOS SANTOS (19100420)

FLORIANÓPOLIS - SC, 2022

Áudio Original	3
Redução de Taxa de Fator 2	4
Aumento de Taxa de Fator 2	5
Detecção de Tons	6

Áudio Original

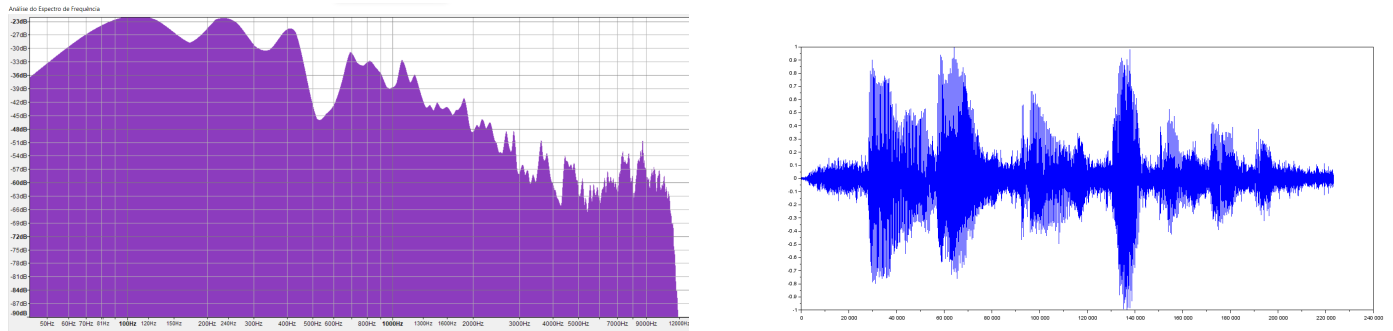


Figura 01: Análise do Espectro da Frequência e Amplitude do Áudio Original

```
analise_do_audio_original.sce (C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto Processamento de Voz\analise_do_audio_ori... - □ ×
Arquivo Editar Formatar Opções Janela Executar ?
analise_do_audio_original.sce (C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto Processamento de Voz\analise_do_audio_original.sce) - SciNotes
analise_do_audio_original.sce
1 //Matheus Lenzi dos Santos -- 19100420
2
3 //Indicando o caminho onde está salvo o áudio original no formato .wav
4 wave = "C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto Processamento de Voz\audio.wav";
5 wavread(wave, "Size")
6 wavread(wave, "Info")
7 //X -> Amplitude do som entre [-1, 1], com uma linha por canal de gravação
8 //Fs -> Frequência de amostragem em Hz
9 //bits -> Número de bits em X
10 [X, Fs, bits] = wavread(wave)
11
12 //Recuperando o tamanho do áudio original no formato .wav
13 wave_size = wavread(wave, "Size") (2)
14
15 //Recuperando apenas um canal de gravação (Mono) áudio original
16 x = X(1,:);
17
18 x_norm = x / (max(abs(x)))
19
20 //Plotando o áudio original
21 plot(x_norm)
22
```

Figura 02: Código para Análise da Amplitude do Áudio Original

Comentário: Áudio com duração de 5 segundos, no qual é feito a contagem de 1 até 5. É possível perceber pelo espectro de amplitude a proeminência de valores em 7 pontos do áudio, mas apenas em 5 deles isso se deve a fala de fato, no restante deles se deve ao ruído captado pelo microfone.

Redução de Taxa de Fator 2

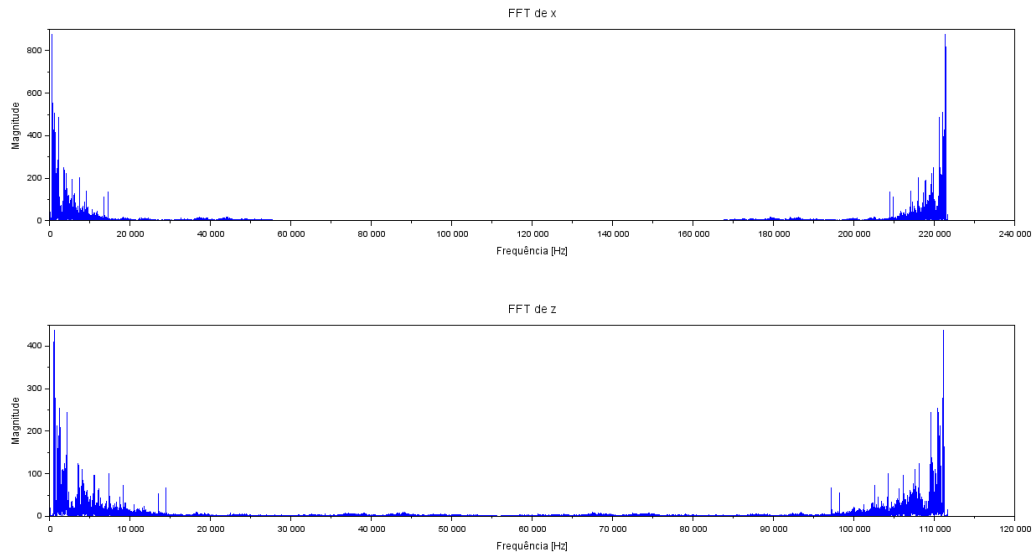


Figura 03: Gráficos das FFTs do Sinal de Áudio Original e do Sinal de Áudio com Redução de Taxa pelo Fator 2

```
aumento_taxa.sce (C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto de Alteração de Taxa e Detecção de Tons\aumento_taxa... - X
Arquivo Editar Formatar Opções Janela Executar ?
aumento_taxa.sce (C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto de Alteração de Taxa e Detecção de Tons\aumento_taxa.sce) - SciNotes
reducao_taxa.sce X
1 // Matheus Lenzi dos Santos - 19100420
2
3 // Indicando o caminho onde está salvo o áudio original no formato .wav
4 wave = "C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto de Alteração de Taxa e Detecção de Tons\audio.wav";
5 wavread(wave,"Sine")
6 wavread(wave,"Info")
7 // X -> Amplitude do som entre [-1, 1], com uma linha por canal de gravação
8 // Fs -> Frequência de amostragem em Hz
9 // bits -> Número de bits em X
10 [X,Fs,bits] = wavread(wave)
11
12 // Recuperando o tamanho do áudio original no formato .wav
13 wave_size = size(X) (2)
14
15 // Recuperando apenas um canal de gravação (Mono) áudio original
16 x = X(1,:)
17
18 // Calculando a FFT do sinal x
19 fft_x = abs(fft(x))
20
21 // Plotando a FFT do sinal x
22 subplot(2,1,1)
23 plot(fft_x)
24 title("FFT de x")
25 xlabel("Frequência [Hz]")
26 ylabel("Magnitude")
27
28 // Definindo o fator de redução de taxa
29 N = 2
30
31 // Filtrando o sinal por filtro passa-baixas e janela de Hamming
32 filtro = wfilters('lp', 100, [1/(2*N)]*0.1, 'hm', [0 0])
33 x_filtrado = filter(filtro, [1], x)
34
35 // Reduzindo a taxa pelo fator N
36 s = x_filtrado(1:N:wave_size)
37
38 // Calculando a FFT do sinal s
39 fft_s = abs(fft(s))
40
41 // Plotando a FFT do sinal s
42 subplot(2,1,2)
43 plot(fft_s)
44 title("FFT de s")
45 xlabel("Frequência [Hz]")
46 ylabel("Magnitude")
47
```

Figura 04: Código para Redução de Taxa de Fator 2

Comentário: Observando os eixos dos gráficos da Figura 03 é possível perceber que o sinal de áudio com redução de taxa pelo fator 2 tem metade do espectro do sinal original, o que fica evidente ao observar o número de amostras do sinal de áudio original, x , que tem 223.231 amostras, e o número de amostras do sinal de áudio com redução de taxa pelo fator 2, z , que tem 111.616 amostras. Ainda, com a alteração no espectro e magnitude dos sinais fica evidenciado componentes, que no sinal de áudio original era de pequena expressão, na região central do espectro do sinal de áudio com redução de taxa pelo fator 2.

Aumento de Taxa de Fator 2

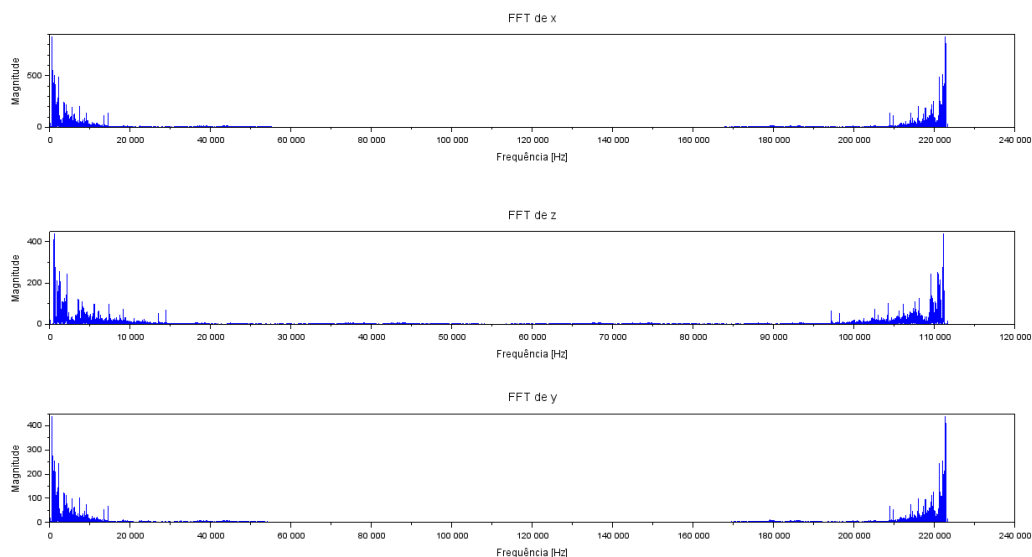


Figura 05: Gráficos das FFTs do Sinal de Áudio Original e do Sinal de Áudio com Aumento de Taxa pelo Fator 2

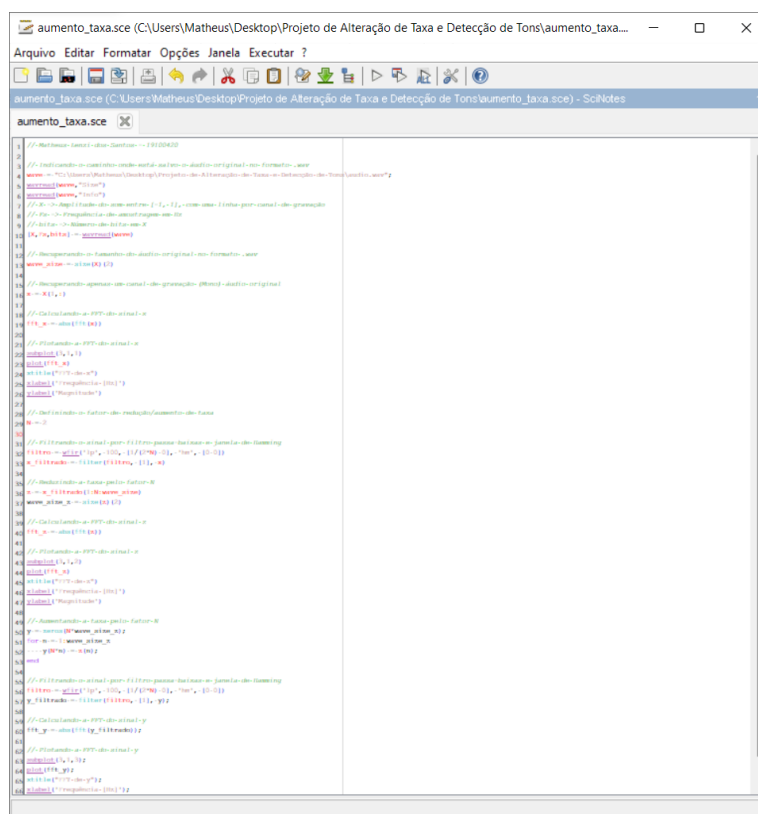


Figura 06: Código para Aumento de Taxa de Fator 2

Comentário: A primeira observação válida diante da Figura 5 é que foi possível recuperar o espectro original do sinal de áudio após o processo de redução e aumento de taxa pelo fator 2. Além da comprovação visual pelos eixos dos gráficos, é possível verificar tal afirmação numericamente, visto o número de amostras para os sinais x , z e y : $223.231 \rightarrow 111.616 \rightarrow 223.231$. Segundo o que é apresentado nos gráficos da Figura 5, um fator que não foi recuperado durante o processo de redução e aumento de taxa foi a magnitude do sinal, o que pode ser atribuído as filtragens realizadas no decorrer do processamento.

Detecção de Tons

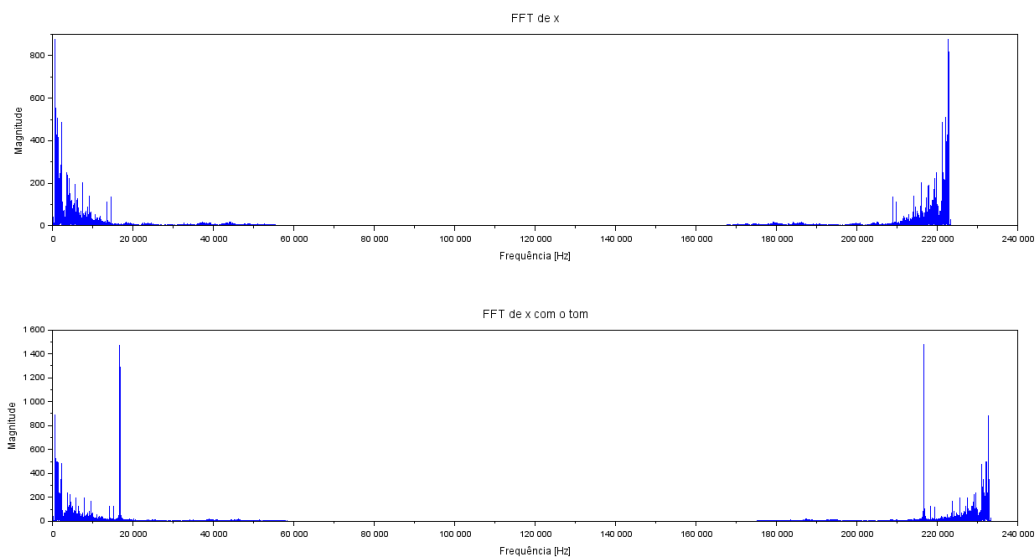


Figura 07: Gráficos das FFTs do Sinal de Áudio Original e do Sinal de Áudio com Tom com Amplitude A

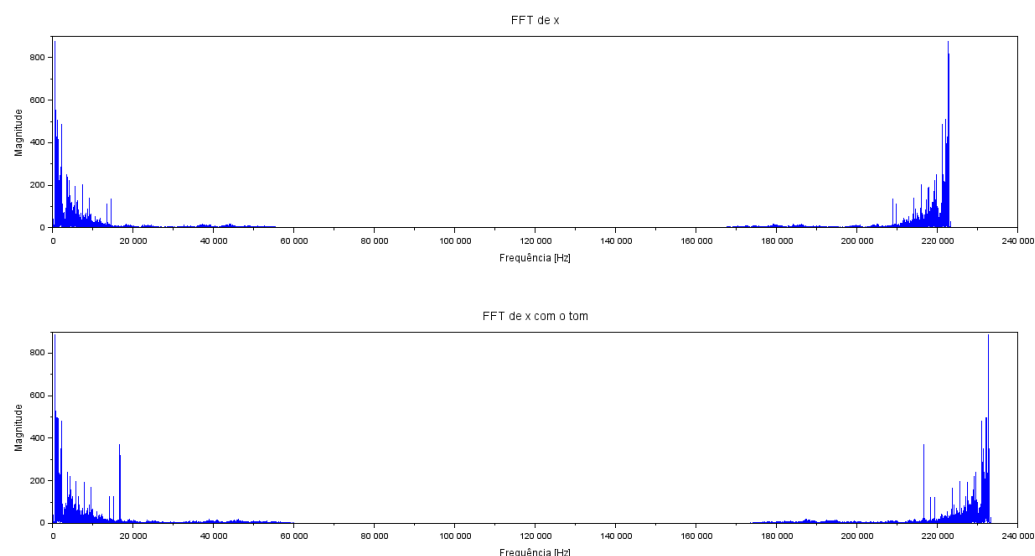


Figura 08: Gráficos das FFTs do Sinal de Áudio Original e do Sinal de Áudio com Tom com Amplitude A/4

Comentário: Pela observação dos gráficos das Figuras 08 e 09, em comparação com o gráfico do sinal de áudio original, é possível perceber o surgimento de uma componente bem significativa próximo à frequência de 18.000 Hz, que fica mais evidente quando o tom tem amplitude A. Considerando a Tabela 01 (na sequência) é possível perceber que as energias dos primeiros quadros é bem elevada para os dois casos, cerca de 39.835,52784 para o tom com amplitude A e 2.489,72049 para o tom com amplitude A/4. A razão entre os valores de pico das energias para os dois casos foi de 16 vezes, o que indica que a energia é proporcional ao quadrado da amplitude do tom.

```

1 //Matheus-Leoni-dos-Santos--19120470
2
3 //Definindo-a-algoritmo-de-Guertz
4 function power = guertzFilter(samples, freqs, SAMPLEFREQUENCY, N)
5     s_prev = 0;
6     s_prev2 = 0;
7     coeff1 = 0; normalizedfreq = 0; power = 0; x = 0;
8     i = 0;
9     normalizedfreq = freqs / SAMPLEFREQUENCY;
10    coeff1 = 2*cos(2*pi*normalizedfreq);
11    for i = 1:N
12        x = samples(i) + coeff1*s_prev - s_prev2;
13        s_prev2 = s_prev;
14        s_prev = x;
15    end
16    power = s_prev2*s_prev2 + s_prev*s_prev - coeff1*s_prev*s_prev2;
17 endfunction
18
19 //Indicando-o-caminho-onde-está-salvo-o-audio-original-no-formato-.wav
20 wav = 'C:\Users\Matheus\Desktop\Projeto-de-Alteração-de-Taxa-e-Detecção-de-Tons\audio.wav';
21 [wav, ~] = audioread(wav, 'info');
22 [wav, ~] = audioread(wav, 'info');
23 //Se-foi-amostrado-em-estereó-f-1,-1,-com-uma-linha-par-canal-de-gravação
24 //Fs-->Frequência-de-amostragem-em-Hz
25 //bits-->Número-de-bits-em-X
26 [X, Fs, bits] = audioread(wav);
27
28 //Recuperando-o-tamanho-do-audio-original-no-formato-.wav
29 wav_size = size(X) [2];
30
31 //Recuperando-apesar-um-canal-de-gravação(Mono)-audio-original
32 x = X[1,:];
33
34 //Calculando-a-FFT-do-sinal-x
35 fft_x = abs(fft(x));
36
37 //Plotando-a-FFT-do-sinal-x
38 subplot(2,1,1);
39 hold(fft_x);
40 title('FFT-do-x');
41 xlabel('Frequência [Hz]');
42 ylabel('Magnitude');
43
44 //Adicionando-o-sinal-cossenoideal-no-sinal-original
45 A = max(abs(x));
46 tom = (A/i)*cos([0:1:1000]);
47 x_tom = [tom;x];
48
49 //Calculando-a-FFT-do-sinal-x-com-o-tom
50 fft_x_tom = abs(fft(x_tom));
51
52 //Plotando-a-FFT-do-sinal-x-com-o-tom
53 subplot(2,1,2);
54 hold(fft_x_tom);
55 title('FFT-do-x-com-o-tom');
56 xlabel('Frequência [Hz]');
57 ylabel('Magnitude');
58
59 //Frequência-para-detecção
60 freqstart = 100;
61 freqtans = freqstart*Fs/(2*pi);
62
63 //Criando-a-janela
64 STKFW = 2500; %-----Famcho-da-janela
65 window = 'hann'(STKFW); %---Janela-de-Hanning
66
67 YAM = x_tom[1:STKFW];
68 i = 1;
69 for n = 1:STKFW:YAM - STKFW
70     %---
71     %---Fazendo-a-janelamento
72     x_tom_janelado = x_tom[n:n+STKFW-1].*window;
73     %---
74     %---Aplicando-o-algoritmo-de-Guertz
75     energy(i) = guertzFilter(x_tom_janelado, freqtans, Fs, STKFW);
76     i = i + 1;
77 end
78
79
80

```

Figura 09: Código para Detecção de Tom

Amplitude A	Amplitude A/4
39835.52784	2489.72049
39831.53254	2489.470784
39828.32857	2489.270535
39828.32857	2489.270535
0.000158725047	0.000158725047
0.002498921308	0.002498921308
0.00972878761	0.00972878761
0.04310279608	0.04310279608
0.02864679079	0.02864679079
0.06077538708	0.06077538708
0.0589361807	0.0589361807
0.01901663412	0.01901663412
0.1063566634	0.1063566634
0.02978328353	0.02978328353
0.009399753143	0.009399753143
0.2197914229	0.2197914229
0.06412530489	0.06412530489
0.05071223907	0.05071223907
0.1021984442	0.1021984442
0.01913941433	0.01913941433
0.01534058344	0.01534058344
0.03179412394	0.03179412394
0.07863508407	0.07863508407
0.04762942134	0.04762942134
0.02927010812	0.02927010812
0.002548616324	0.002548616324
0.1465353938	0.1465353938
0.2102236398	0.2102236398
0.03134959623	0.03134959623
0.105497158	0.105497158
0.1564543878	0.1564543878
0.1171115301	0.1171115301
0.1476987971	0.1476987971
0.02513164602	0.02513164602
0.08637272891	0.08637272891
0.03309010433	0.03309010433
0.003474610537	0.003474610537
0.02243897707	0.02243897707
0.02236859224	0.02236859224
0.03913251634	0.03913251634
0.02018392303	0.02018392303
0.06029131985	0.06029131985
0.02105931494	0.02105931494
0.05321924172	0.05321924172
0.0009671384509	0.0009671384509
0.04355200253	0.04355200253
0.01420213918	0.01420213918
0.0124600872	0.0124600872
0.05150390015	0.05150390015
0.00458319446	0.00458319446
0.009968613471	0.009968613471
0.069255738	0.069255738
0.01721378675	0.01721378675
0.00224264717	0.00224264717
0.00928264509	0.00928264509
0.03504884393	0.03504884393
0.01556191623	0.01556191623
0.09923158663	0.09923158663
0.07122725296	0.07122725296

0.08162458804	0.08162458804
0.1217929106	0.1217929106
0.02924552354	0.02924552354
0.03089233791	0.03089233791
0.1221978194	0.1221978194
0.002448791788	0.002448791788
0.01000655097	0.01000655097
0.02217137522	0.02217137522
0.03375714567	0.03375714567
0.07318212074	0.07318212074
0.2855059556	0.2855059556
0.03609204107	0.03609204107
0.1313115028	0.1313115028
0.04244806594	0.04244806594
0.04846731747	0.04846731747
0.01895752238	0.01895752238
0.00120482933	0.00120482933
0.03316979567	0.03316979567
0.02432778021	0.02432778021
0.009845520304	0.009845520304
0.01437729049	0.01437729049
0.007691330358	0.007691330358
0.0139499652	0.0139499652
0.03513335059	0.03513335059
0.01035143504	0.01035143504
0.03173073789	0.03173073789
0.02508337068	0.02508337068
0.001263720937	0.001263720937
0.01439208914	0.01439208914
0.008121282836	0.008121282836
0.004270428303	0.004270428303
0.002593489564	0.002593489564
0.003643869601	0.003643869601
0.01243985632	0.01243985632

Tabela 01: Energia do Algoritmo de Goertzel para Tom com a Amplitude A (Esquerda) e A/4 (Direita)