

# Equalizador Digital de Áudio

Morbach, A. C.

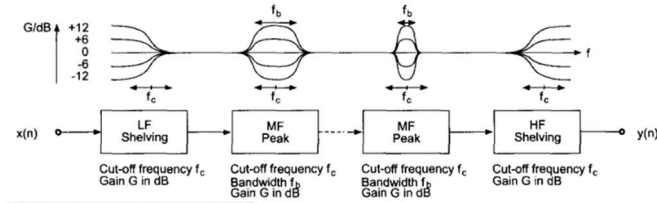
O projeto trata-se de um equalizador digital de áudio desenvolvido em Python. É composto por 14 filtros: dois filtros shelving e doze filtros peak. Todos os cálculos para a implementação dos filtros serão abordados ao longo do trabalho. A interface do projeto foi feita utilizando a plataforma QtPy5, nela o usuário selecionará o arquivo de áudio mono no formato .wav e utilizando os slides dispostos na tela definirá quais frequências serão atenuadas ou amplificadas. Deve ser definido o nome do arquivo que será gerado. A sinalização no canto inferior direito da tela ficará verde quando o processamento for finalizado. A taxa de amostragem foi definida como sendo 44100Hz.

**Introdução:** Na área da produção musical, um dos processos mais importantes no momento da mixagem de áudio é a equalização. Esse processo tem a função de definir qual parte do espectro audível cada sinal ocupará. A metodologia utilizada para definir os parâmetros do equalizador pode variar muito de acordo com os objetivos que o usuário busca.

Em contraposição aos filtros passa altas, passa baixas, e de rejeição de banda, que apenas atenuam o sinal abaixo ou acima de uma frequência de corte, o equalizador define a forma do espectro de áudio realçando ou atenuando certas frequências, enquanto outras continuam inalteradas. É composto por uma série de filtros *shelving* e *peak*, que são controlados independentemente [1].

O trabalho pode ser dividido em três partes. Na primeira parte serão definidas as equações de diferenças de cada filtro. Na segunda parte, a disposição dos filtros na cadeia de sinal será explorada. Na terceira parte será mostrado o funcionamento da interface. Enfim, a última parte contém os resultados obtidos a partir da análise dos sinais de entrada e saída nos domínios do tempo e frequência.

**Equalizador:** A topologia básica de um equalizador é mostrada em Fig.1. Os filtros *shelving* atuam nas frequências extremas do espectro, enquanto os filtros *peak* atuam nas frequências intermediárias.



**Fig. 1** Topologia - Equalizador. Fonte: DAFX - Digital Audio Effects.

**Filtro Shelving:** De acordo com a estrutura canônica de um filtro IIR de segunda ordem, a função de transferência no plano  $z$  é definida por:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

Como  $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$ .

$$Y(z) = b_0 X(z) + b_1 z^{-1} X(z) + b_2 z^{-2} X(z) - a_1 z^{-1} Y(z) - a_2 z^{-2} Y(z)$$

A equação de diferenças (1) é obtida a partir da transformada Z inversa da equação anterior.

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + b_2 x[n-2] - a_1 y[n-1] - a_2 y[n-2] \quad (1)$$

Os coeficientes para que o filtro exerça a função de *cut* (atenuar) e *boost* (realçar) para as frequências mais baixas e mais altas são calculados a partir das equações da tabela 1.

**Tabela 1** – Equações para o cálculo dos coeficientes dos filtros *shelving*. Fonte: DAFX – Digital Audio Effects.

Filtro Shelving Boost – Frequências inferiores				
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$a_1$	$a_2$
$\frac{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{2(V_0K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2K + K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$
Filtro Shelving Cut – Frequências inferiores				
$\frac{1 + \sqrt{2K + K^2}}{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2K + K^2}}{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{2(V_0K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2K + K^2}}{1 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$
Filtro Shelving Boost – Frequências superiores				
$\frac{V_0 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{2(K^2 - V_0)}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{V_0 - \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{1 + \sqrt{2K + K^2}}$
Filtro Shelving Cut – Frequências superiores				
$\frac{1 + \sqrt{2K + K^2}}{V_0 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{2(K^2 - V_0)}{V_0 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{1 - \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}{V_0 + \sqrt{2V_0K + V_0K^2}}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{\frac{2}{V_0}K + \frac{K^2}{V_0}}}$	$\frac{1 - \sqrt{\frac{2}{V_0}K + \frac{K^2}{V_0}}}{1 + \sqrt{\frac{2}{V_0}K + \frac{K^2}{V_0}}}$

Sendo:

$$K = \tan\left(\frac{\pi f_c}{f_s}\right); \quad V_0 = 10^{\frac{G}{20}} \quad (3 \text{ e } 4)$$

$f_s$  é a frequência de amostragem, que será 44100Hz.  $f_c$  é a frequência de corte, que para as frequências inferiores será 100Hz e para as superiores 19kHz.  $G$  é o ganho em dB que será escolhido pelo usuário, podendo variar de  $-12\text{dB}$  até  $12\text{dB}$  (4).

**Filtro Peak:** Para a modelagem dos filtros *peak* será utilizada a mesma equação de diferenças dos filtros *shelving* (1).

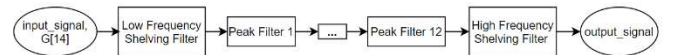
Os coeficientes para que o filtro exerça a função de *cut* e *boost* são calculados a partir das equações da tabela 2.

**Tabela 2** – Equações para o cálculo dos coeficientes dos filtros *peak*. Fonte: DAFX – Digital Audio Effects.

Filtro Peak Boost				
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$a_1$	$a_2$
$\frac{1 + \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{1 - \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{1 - \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$
Filtro Peak Cut				
$\frac{1 + \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{1 - \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{2(K^2 - 1)}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$	$\frac{1 - \frac{K}{Q} + K^2}{1 + \frac{K}{Q} + K^2}$

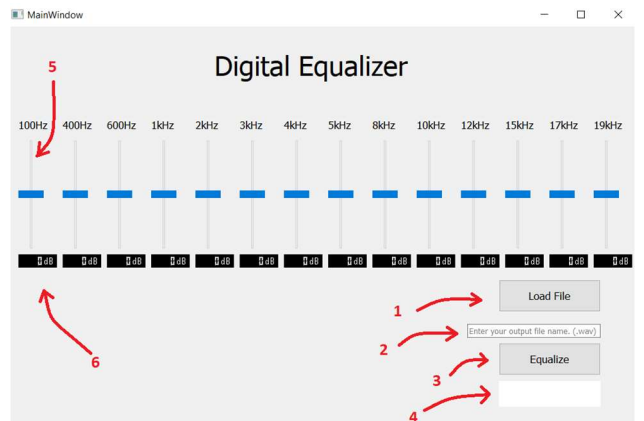
$Q$  é o fator de qualidade dos filtros, foi definido como sendo 15. Os valores da frequência de corte central ( $f_c$ ) utilizados em (3) são: 400, 600, 1k, 2k, 3k 4k 5k, 10k, 12k, 15k e 17kHz.

**Disposição dos filtros:** A disposição dos filtros foi organizada de acordo com a Fig.2.



**Fig. 2** Disposição dos filtros.

**Interface:** A tela de interface do equalizador foi desenvolvida usando a plataforma QtDesigner e a biblioteca QtPy5, Fig.3.

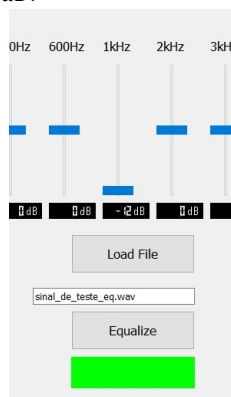


**Fig. 3** Interface - Digital Equalizer.

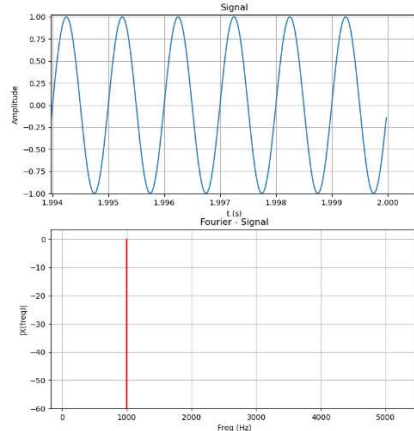
O botão *Load File* - 1 abre a janela de *Documentos* do *Windows* para seleção do arquivo de áudio que será equalizado. Na área 2 deve ser escrito o nome do arquivo *.wav* que será gerado após o processamento. O botão *Equalize* - 3 iniciará o processo, que quando finalizado, acenderá a área 4 com a cor verde. Os *slides* - 5 irão definir qual o ganho em cada faixa de frequência, a visualização desses ganhos é mostrada nos *displays* - 6.

Quando o processo é finalizado, uma tela com os sinais de entrada e saída no domínio do tempo e da frequência é exibida.

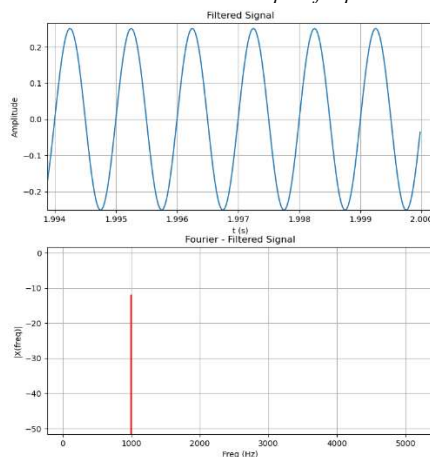
**Simulações:** Para visualizar o funcionamento do equalizador foi adicionado um sinal de entrada com amplitude 1 e frequência de 1kHz. Primeiramente é selecionado um ganho de  $-12\text{dB}$ , Fig.4, depois é selecionado um ganho de  $6\text{dB}$ , Fig.7. Assim, é possível verificar a precisão do equalizador. Para finalizar as simulações, é adicionado um sinal de áudio de guitarra, Fig. 9, e então, equalizado para que as frequências entre  $400\text{Hz}$  e  $4\text{kHz}$  sejam realçadas enquanto o resto do espectro é atenuado  $12\text{dB}$ .



**Fig. 4** Ganho de  $12\text{dB}$  selecionado para o sinal de  $1\text{kHz}$ .

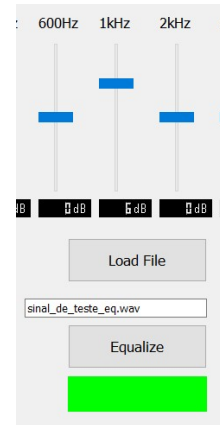


**Fig. 5** Sinal de entrada nos domínios do tempo e frequência.

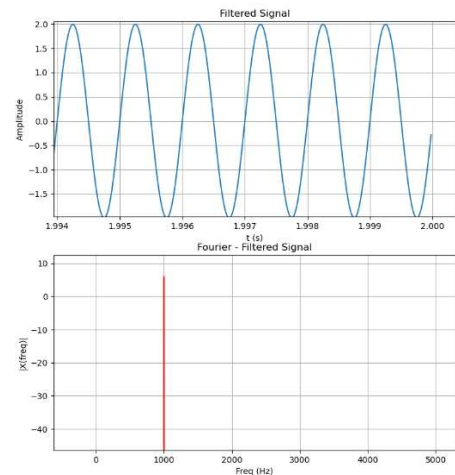


**Fig. 6** Sinal de saída nos domínios do tempo e frequência.

Analisando os gráficos de Fig.5 e Fig.6 é possível validar o funcionamento do filtro. O sinal de saída foi atenuado aproximadamente  $12\text{dB}$ , a amplitude final é de 0,252.



**Fig. 7** Ganho de  $12\text{dB}$  selecionado para o sinal de  $1\text{kHz}$ .

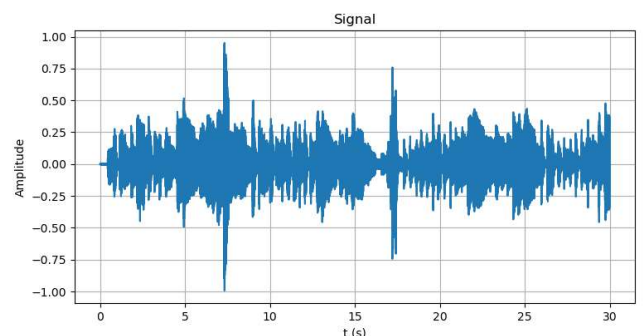


**Fig. 8** Sinal de saída nos domínios do tempo e frequência

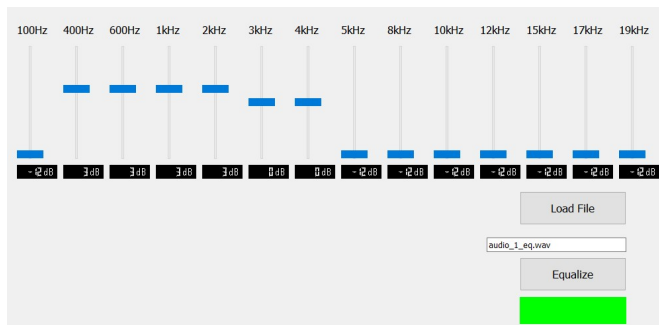
Modificando o ganho para  $6\text{dB}$ , Fig.7, nota-se que o sinal dobrou de amplitude, como o esperado, Fig.8.

Para verificar o funcionamento do equalizador com sinais que possuem mais componentes de frequência foi utilizado um áudio de guitarra, Fig.9. Os parâmetros utilizados estão dispostos na Fig.10.

Um intervalo de tempo foi selecionado para melhor comparação entre os sinais de entrada e saída, entre  $0,56\text{s}$  e  $0,58\text{s}$ , Fig. 11 e 12.



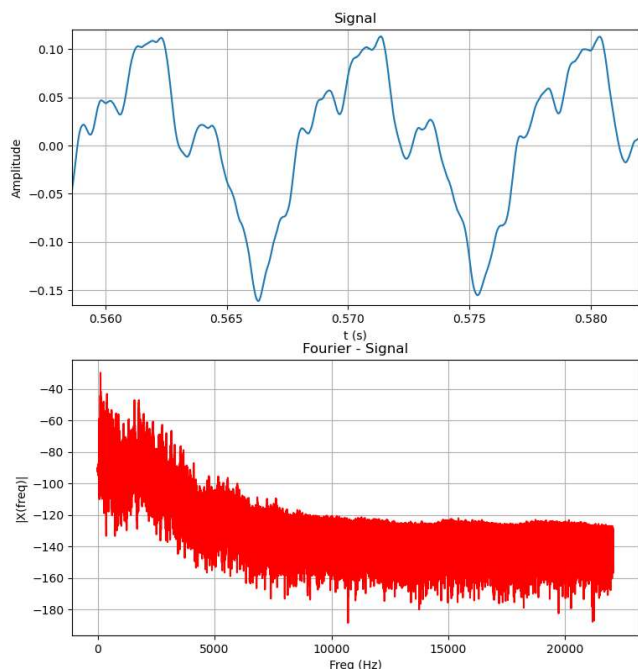
**Fig. 9** Sinal de entrada - Gravação de uma guitarra.



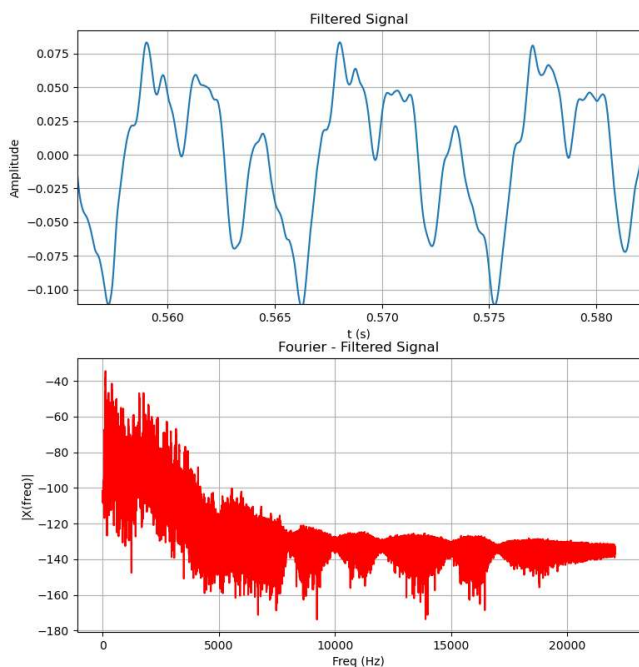
**Fig. 10** Parâmetros utilizados no equalizador.

## Referências

1. Rocchesso, D., Bonada, J., Evangelista, G., Arfib, D., Keiler, F., Loscos, A., De Poli, G., Sandler, M., Dutilleux, P., Amatrian, X., Serra, X.: 'DAFX: Digital Audio Effects', April 2004, pp. 50–55.



**Fig. 11** - Análise entre 0,56s e 0,58 do sinal de entrada.



**Fig. 12** Análise entre 0,56s e 0,58 do sinal de saída.

Analisar os espectros dos dois sinais se torna complicado devido ao número de componentes no domínio da frequência e ao fato de que a maior densidade de energia do sinal de guitarra se concentra entre 100Hz e 5kHz. Então, observando no domínio do tempo, nota-se que a amplitude máxima de pico a pico e as características do sinal foram sutilmente modificadas. Escutando os áudios fica claro o corte das frequências maiores no sinal de saída.