



**Universidade de Brasília – UnB**  
**Faculdade UnB Gama – FGA**  
**Engenharia Eletrônica**

## **Título: Subtítulo do Trabalho**

**Autor: Joselito Prado Marques da Silva**  
**Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia**

**Brasília, DF**  
**2024**





Joselito Prado Marques da Silva

**Título: Subtítulo do Trabalho**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia

Brasília, DF

2024

---

Joselito Prado Marques da Silva

Título: Subtítulo do Trabalho/ Joselito Prado Marques da Silva. – Brasília,  
DF, 2024-

75 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade UnB Gama – FGA , 2024.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. I. Dr. Diogo Caetano Garcia. II. Uni-  
versidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Título: Subtítulo do Trabalho

CDU 02:141:005.6

---

Joselito Prado Marques da Silva

## **Título: Subtítulo do Trabalho**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2024 – Data da aprovação do trabalho:

---

**Dr. Diogo Caetano Garcia**  
Orientador

---

**Titulação e Nome do Professor**  
**Convidado 01**  
Convidado 1

---

**Titulação e Nome do Professor**  
**Convidado 02**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2024



**A dedicatória é opcional. Caso não deseje uma, deixar todo este arquivo em branco.**

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*



# Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (sem negritos, aspas ou itálico)*.

**Caso não deseje utilizar os agradecimentos, deixar toda este arquivo em branco.**



**A epígrafe é opcional. Caso não deseje uma, deixe todo este arquivo em branco.**

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,  
mas transformai-vos pela renovação da mente,  
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:  
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.  
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*



# Resumo

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecedidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

**Palavras-chave:** latex. abntex. editoração de texto.



# Abstract

This is the english abstract.

**Key-words:** latex, abnTeX, text editoration.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – sinal de tempo contínuo . . . . .	31
Figura 2 – sinal de tempo discreto . . . . .	31
Figura 3 – espectro do sinal amostrado com $W_s > 2W_m$ . . . . .	32
Figura 4 – quantização de amplitudes em tempo discreto . . . . .	34
Figura 5 – retentor de ordem zero como amostragem ou reconstrução de um sinal . . . . .	35
Figura 6 – interpolação linear entre amostras . . . . .	35
Figura 7 – ciclo de propagação do som . . . . .	36
Figura 8 – Rosnie - inventado por Alex Rosner . . . . .	38
Figura 9 – CMA-10-2DL - Primeiro mixer estéreo comercial . . . . .	39
Figura 10 – toca-disco SL-1200 . . . . .	39
Figura 11 – mixer criado pela Rane . . . . .	40
Figura 12 – CDJ-300 - primeira CDJ da Pioneer . . . . .	40
Figura 13 – mixagem virtual com o Apple Vision Pro . . . . .	41
Figura 14 – configuração mais encontrada . . . . .	41
Figura 15 – <i>rotary mixer</i> . . . . .	42
Figura 16 – espectro de áudio . . . . .	44
Figura 17 – fio desbalanceado . . . . .	46
Figura 18 – Fio Balanceado . . . . .	46
Figura 19 – plug 1/4" . . . . .	46
Figura 20 – plug 1/8" . . . . .	47
Figura 21 – plug 2,5 mm . . . . .	47
Figura 22 – cabo RCA . . . . .	48
Figura 23 – cabo XLR . . . . .	48
Figura 24 – música 1 no domínio do tempo sem filtragem . . . . .	69
Figura 25 – música 1 no domínio da frequência sem filtragem . . . . .	69
Figura 26 – música 1 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 20 Hz . . . . .	70
Figura 27 – música 1 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 20 Hz . . . . .	70
Figura 28 – música 1 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 300 Hz . . . . .	70
Figura 29 – música 1 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 300 Hz . . . . .	71
Figura 30 – música 1 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 4 kHz . . . . .	71
Figura 31 – música 1 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 4 kHz . . . . .	71
Figura 32 – música 1 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 24 kHz . . . . .	72
Figura 33 – música 1 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 24 kHz . . . . .	72
Figura 34 – música 2 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 24 kHz . . . . .	72
Figura 35 – música 2 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 24 kHz . . . . .	73
Figura 36 – música 2 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 4 kHz . . . . .	73

Figura 37 – música 2 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 4 kHz . . . . .	73
Figura 38 – música 2 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 300 Hz . . . . .	74
Figura 39 – música 2 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 300 Hz . . . . .	74
Figura 40 – música 2 no domínio do tempo com uma $f_c$ de 20 Hz . . . . .	74
Figura 41 – música 2 no domínio da frequência com uma $f_c$ de 20 Hz . . . . .	75
Figura 42 – música 2 no domínio do tempo sem filtragem . . . . .	75
Figura 43 – música 2 no domínio da frequência sem filtragem . . . . .	75

# Lista de tabelas



# **Lista de abreviaturas e siglas**

AD	Analógico para digital
CD	Compact Disc
CD-R	Compact Disc-Recordable
DA	Digital para analógico
DJ	Disc jockey ou discoterário
STFT	Short Time Fourier Transform (Transformada de Fourier de Tempo Curto)



# List of symbols

$\Gamma$  Greek letter Gamma

$\Lambda$  Lambda

$\zeta$  Greek letter minuscule zeta

$\in$  Pertains



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
<b>1.1</b>	<b>Contexto</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>27</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>27</b>
1.3.1	Objetivo Geral	27
1.3.2	Objetivos Específicos	27
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Documento</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Sinal: Conceito</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>Sinal Contínuo</b>	<b>30</b>
2.2.1	Sinal Discreto	31
2.2.2	Transformada de Fourier	31
2.2.3	Teorema da Amostragem	32
2.2.4	Aliasing	33
2.2.5	Teorema da Quantização	33
2.2.6	Reconstrução do Sinal	34
<b>2.3</b>	<b>Som e Música</b>	<b>35</b>
2.3.1	Conceito físico	35
2.3.2	Audição Humana	36
2.3.3	História da Gravação e Reprodução de Som	36
2.3.4	Disc Jockeys <i>DJs</i>	37
2.3.5	Parâmetros físicos	43
2.3.5.1	Equipamentos	44
<b>2.4</b>	<b>Mixer</b>	<b>45</b>
2.4.1	Potência de Sinal de Áudio	45
2.4.2	Cabeamento	45
2.4.3	Conectores de 1/4", 1/8" (3,5 mm) e 2,5 mm	46
2.4.4	RCA	47
2.4.5	XLR	48
2.4.6	Protocolos Digitais	48
2.4.7	Amplificação de Potência	48
2.4.8	Equalização	49
2.4.9	<i>Trim</i> e Volume	49
2.4.10	Conversão AD/DA	49

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>51</b>
3.1	<b>Proposta Geral</b>	<b>51</b>
3.2	<b>Prova de Conceito</b>	<b>51</b>
3.2.1	<i>PureData</i>	51
3.2.2	Implementação de Mixagem	51
3.2.3	Implementação de Efeitos	51
3.3	<b>Proposta de Implementação</b>	<b>51</b>
3.3.1	Implementação em <i>Hardware</i>	51
3.3.2	Implementação em <i>Software</i>	51
3.3.3	Integração	51
3.4	<b>Proposta de Implementação - Old Section</b>	<b>51</b>
3.4.1	Documentação	52
3.4.2	Levantamento de Requisitos	52
3.4.3	Análise do Questionário	54
3.4.4	Informações Demográficas	54
3.4.5	Tipo de DJ e Experiência	54
3.4.6	Setup - Hardware e Software	55
3.4.7	Estilos musicais e aquisição de músicas	56
3.4.8	Proposta de Implementação do Protótipo	56
3.4.9	Diagramas de Subpartes	57
3.4.10	Diagrama de Integração	57
3.4.11	Diagrama de Comunicação	57
3.4.12	Fluxograma	57
3.4.13	Protótipo de Interface de Usuário	57
3.4.14	Documento de Especificação Técnica	57
3.4.15	Documento de Plano de Teste	57
<b>4</b>	<b>RESULTADOS PRELIMINARES</b>	<b>59</b>
4.1	<b>Resultados de Filtragem</b>	<b>59</b>
4.2	<b>Resultados de Efeitos</b>	<b>61</b>
4.2.1	Automação de Efeitos	61
4.2.2	<i>Reverb</i>	61
4.2.3	<i>Delay</i>	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>

## **ANEXOS**

**67**

<b>ANEXO A – GRÁFICOS DE FILTRAGEM . . . . .</b>	<b>69</b>
--	-----------



# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

## 1.2 Justificativa

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

### 1.3.2 Objetivos Específicos

## 1.4 Estrutura do Documento



## 2 Fundamentação Teórica e Estado da Arte

Nessa seção, serão abordados conceitos básicos para a compreensão da monografia (teoria, problema e proposta); a começar pela definição de um sinal segundo a literatura, representado por um sinal elétrico, tanto analógico quanto digital; conceituar música e a importância da mixagem realizada por *DJs*, culminando no equipamento utilizado, dando enfoque ao *mixer*, seja na sua história, evolução e no seu estado da arte.

## 2.1 Sinal: Conceito

"Os sinais, que são funções de uma ou mais variáveis independentes, contêm informações sobre o comportamento ou natureza de algum fenômeno, enquanto os sistemas respondem a algum sinal em particular, produzindo outros sinais ou algum comportamento desejado." (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010).

Como exemplifica (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010), tensões e correntes ao longo do tempo são funções, ou seja, sinais, enquanto o circuito em si pode ser compreendido como um sistema que reage à entrada aplicada, ao produzir sinais de saída.

Sensores são dispositivos capazes de mensurar grandezas físicas através da captação de sinais elétricos. Dessa forma, a criação desse instrumento permitiu a compreensão de fenômenos físicos. Assim, o monitoramento de grandezas permite que se atue em sistemas físicos a fim de se obter um resultado desejado.

[O intuito do parágrafo acima é simplesmente realizar uma ponte entre sinais elétricos e quais compreensões um sensor permite que sejam realizadas. De forma que a atuação em um sistema seja realizada a fim de se chegar a um resultado esperado.]

Com o desenvolvimento de sensores na história da instrumentação, foi possível a obtenção da quantização de parâmetros físicos através de sinais elétricos. E dessa forma, a compreensão de fenômenos físicos e, consonante a isso, a construção de sistemas que podem alterar os sinais conforme a resposta desejada.

## 2.2 Sinal Contínuo

Dentro das possibilidades do que um sinal pode ser, pode-se classificá-lo como contínuo caso a sua variável independente seja contínua, ou seja, que tenha um valor para cada instante de tempo (variável independente). Por exemplo, entre o intervalo de  $t$  a  $t+1$ , há infinitos valores tanto de tempo quanto para o parâmetro em função do tempo, (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010). Um exemplo pode ser o valor de corrente em um resistor alimentado por uma tensão ou um som que gera uma pressão acústica no ar captados pelo sistema auditivo. A Figura 1 é um exemplo de um gráfico para um sinal contínuo no tempo.

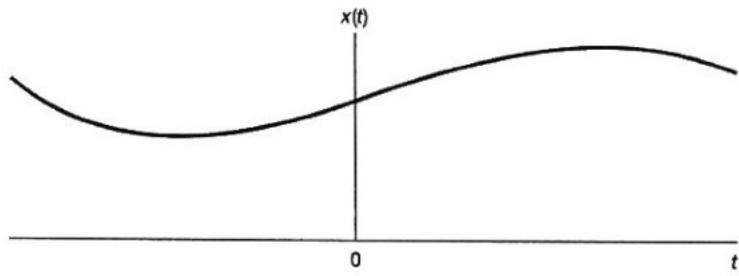


Figura 1 – sinal de tempo contínuo

### 2.2.1 Sinal Discreto

Em contrapartida a um sinal contínuo em relação a sua variável independente, há outra classificação de sinal denominado de discreto. A sua variável independente é o tempo discreto, que pode ser definido por um conjunto de números inteiros. Caso a variável independente não seja inteira, ou seja,  $n$  não seja inteiro, não há valor definido. Dessa forma, entre  $n$  e  $n+1$ , não há infinitos valores como há no tempo contínuo. Um exemplo dessa classificação de sinal pode ser . ([OPPENHEIM; WILLSKY, 2010](#)). A Figura 2 é um exemplo de um gráfico para um sinal no tempo discreto.

[Quando o senhor diz que ao invés de ser um sinal discreto, é um discretizado, o senhor se refere ao exemplo da variação semanal da bolsa de valores. Ou ao conceito explicado na seção?]

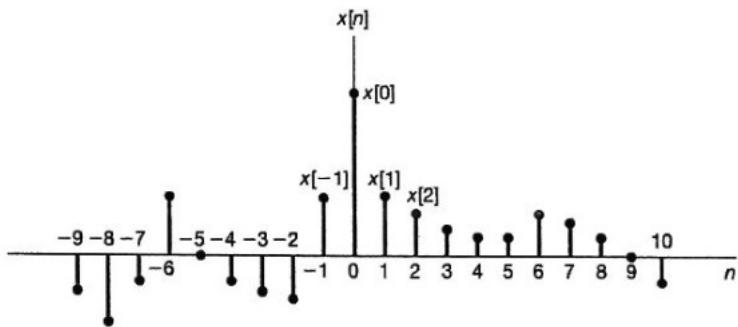


Figura 2 – sinal de tempo discreto

### 2.2.2 Transformada de Fourier

Uma ferramenta matemática crucial para a análise de sinais na frequência é a transformada de Fourier, que realiza uma modificação do termo independente, saindo do tempo ou espaço e indo para frequências, também denominada de equação de análise, que pode ser visualizada na equação 2.1.

De forma análoga, transformada inversa, ou a também chamada de equação de síntese, realiza o processo inverso, modificando o sinal representado no domínio da frequência

para o seu domínio original, segundo (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010), seja tempo ou espaço. A equação da transformada inversa pode ser visualizada na equação 2.2

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-j\omega n} \quad (2.1)$$

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega})e^{j\omega n} d\omega \quad (2.2)$$

### 2.2.3 Teorema da Amostragem

Devido ao desenvolvimento da computação nas últimas décadas e pela consequente diminuição de custos de produção e de aquisição de dispositivos capazes de realizar o processamento digital de sinais, tornou-se muito vantajoso a utilização de sinais no tempo discreto, para que possam ser trabalhados digitalmente, e posteriormente, ou não, serem convertidos novamente para o tempo contínuo, sem a perda da informação inicial.

O processo de obter um sinal discreto a partir de um sinal contínuo é denominado de amostragem, e para que, a partir do sinal amostrado, reconstrua-se o sinal contínuo original, o sinal e o processo de amostragem devem preencher alguns requisitos.

Para que um sinal seja amostrado, é necessário que o intervalo de amostragem, ou seja, o espaçamento entre duas amostras seja regular. A cada período  $T$ , uma amostra é adquirida, resultando em uma frequência de amostragem  $f = 1/T$ . Ao passar essa função do domínio do tempo para o domínio da frequência, obter-se-á uma banda de frequências que compõe o sinal no domínio do tempo.

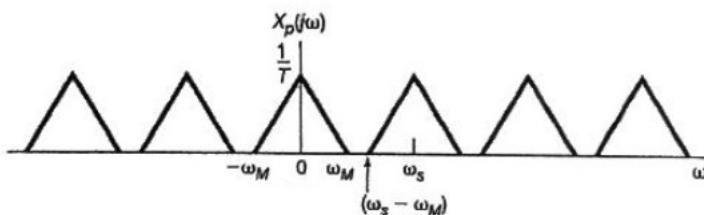


Figura 3 – espectro do sinal amostrado com  $\omega_s > 2\omega_M$

Ao observar a Figura 3, sendo a componente  $\omega_M$  a maior frequência angular presente no sinal do tempo,  $\omega_s$  a frequência de amostragem, constata-se que  $\omega_M < (\omega_s - \omega_M)$  segundo Oppenheim e Willsky (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010). Dessa forma,  $\omega_s > 2\omega_M$ . Caso a frequência de amostragem seja menor que  $\omega_M$ , haverá sobreposição das bandas adjacentes, e, por conseguinte, a reconstrução do sinal não será possível. Ao respeitar esse requisito, o sinal pode ser recuperado ao utilizar um filtro passa-baixas de corte com a frequência de corte maior que  $\omega_M$  e menor que  $\omega_M - \omega_s$ . Essa análise é o Teorema de Amostragem que infere que a:

$$\omega_s > 2\omega_M \quad (2.3)$$

em que

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} \quad (2.4)$$

O parâmetro  $\omega_M$ , que deve ser menor que metade da frequência de amostragem  $\omega_s$ , recebe o nome de frequência de Nyquist (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010).

Esse teorema foi explicitado na literatura por Shannon (SHANNON, 1949) mas foi apontado anteriormente por Nyquist (NYQUIST, 1928) [EXPLICAR DIREITO O QUE A FRASE A SEGUIR SIGNIFICA]. A partir dela, comprehende-se a suficiência da representação de um sinal pela série de Fourier por  $2TW$  amostras, no qual  $T$  é a duração de uma função e  $W$  é a frequência mais alta que compõe o sinal.

#### 2.2.4 Aliasing

Quando a frequência de amostragem não está de acordo com o critério de Nyquist, ou seja, menor que o dobro da frequência mais alta, não se tem a reconstrução do sinal, já que, ao realizar a filtragem passa-baixa, na banda  $/omega_M$  haverá componentes da banda adjacente.

#### 2.2.5 Teorema da Quantização

Após a amostragem de sinais, obtém-se um conjunto de sinais. Para que esses sinais, pertencentes ao domínio contínuo, possam ser processados, é necessário que se faça a quantização digitalmente. A quantização é um processo no qual se determina intervalos de valores, atribuindo cada valor amostrado a um valor quantizado em função do intervalo no qual o valor se insere. Para cada sinal amostrado, é atribuído um valor quantizado.

Para que determine com precisão os valores dos intervalos da quantização, o maior e o menor valor obtido pós amostragem são os limites dos valores de amplitudes discretos. Na Figura 4, observa-se o processo a partir do qual, para cada valor obtido na amostragem, há um intervalo correspondente que passará a representar esse sinal.

O intervalo de amplitude discreta da Figura 4 varia de -32768 a +32767, totalizando 65536 possíveis amplitudes discretas, ou seja,  $2^{16}$  possíveis amplitudes. Dessa forma, cada amplitude pode ser representada por uma palavra binária de 16 bits. A quantidade de bits a ser utilizada determinará a quantidade de intervalos possíveis, o que, por conseguinte, determinará a precisão da quantização, devido a um erro gerado.

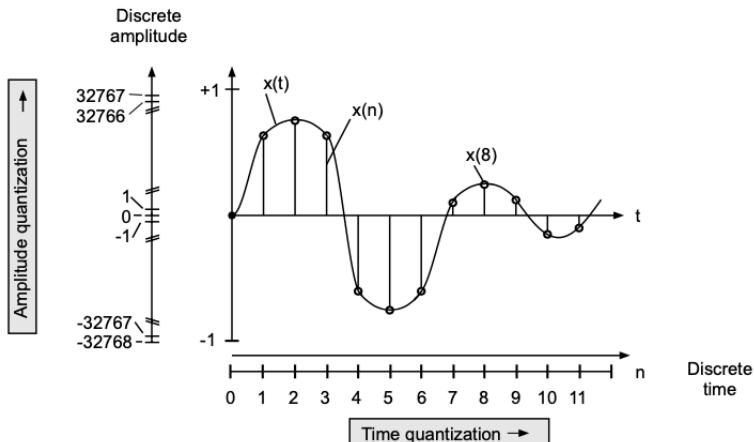


Figura 4 – quantização de amplitudes em tempo discreto

Cada processo de quantização deve levar em conta a precisão necessária e os limites do intervalo de valores possíveis. Ao final, o procedimento de quantização é essencial para as conversões AD (análogo para digital).

A quantização, o processo de digitalizar a amplitude, é descrita pelo Teorema de Quantização de Widrow ([WIDROW; KOLLAR; LIU, 1996](#)), segundo Zölzer ([ZÖLZER, 2008](#)).

## 2.2.6 Reconstrução do Sinal

A transformação do sinal do tempo discreto para o tempo contínuo, em diversas aplicações, é necessário após algum processamento de sinal realizado segundo Oppenheim e Willsky ([OPPENHEIM; WILLSKY, 2010](#)).

Para que essa reconstrução aconteça, é necessário que o sinal tenha a banda limitada e que se tenha sido utilizada a frequência de amostragem adequada. Uma forma mais simples de implementar a interpolação, segundo Oppenheim e Willsky ([OPPENHEIM; WILLSKY, 2010](#)), é o retentor de ordem zero, que mantém o sinal no mesmo nível até que chegue a próxima amostra, a partir da qual, o nível se alterará para a amplitude desta nova amostra.

Há ordens maiores para os retentores, e, segundo Oppenheim e Willsky ([OPPENHEIM; WILLSKY, 2010](#)), a própria interpolação linear, às vezes, é denominada de retentor de primeira ordem. Um fato a que se deve se atentar é que a reconstrução garante a igualdade entre os valores do sinal inicial e do reconstruído para aqueles instantes em que ocorreram as amostragem. Conforme a necessidade, pode-se aumentar a ordem do retentor.

Na Figura 5, há o retentor de ordem zero, que mantém o nível da última amostra por um período T. Método que pode ser utilizado na reconstrução de um sinal.

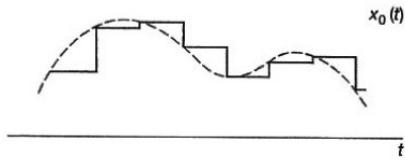


Figura 5 – retentor de ordem zero como amostragem ou reconstrução de um sinal

Já na Figura 6, há a interpolação linear para a reconstrução de um sinal. A linha pontilhada é o sinal original e a linha contínua é o sinal reconstruído.

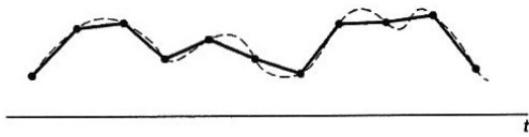


Figura 6 – interpolação linear entre amostras

## 2.3 Som e Música

Nesta seção, será apresentada uma abordagem histórica, conceitual e técnica entre a natureza do som e a mixagem realizada por um *DJ*. A partir do som, a música será definida e grandezas físicas serão abordadas. Posteriormente, serão abordados cenários históricos e técnicos acerca do início de gravações musicais e da discotecagem. Em seguida, com um enfoque mais atual, será exposto um contexto contemporâneo acerca da mixagem realizada a partir de um *DJ*; que realiza uma seleção musical em função de características de cada música; que realiza transições a fim de se criar uma experiência musical única.

### 2.3.1 Conceito físico

Segundo Moyses ([NUSSENZVEIG, 2006](#)): "... corpos em vibração produzem sons ...". Dessa forma, é necessário que haja um meio para que esse som se propague. Esse meio pode ser líquido, viscoso, sólido ou gasoso (como a atmosfera). De acordo com o mesmo autor, "... ondas sonoras na atmosfera são ondas longitudinais, associadas a variações de pressão, ou seja, compressões e rarefações ...".

Dessa forma, a oscilação de um objeto, ao provocar constantemente compressão e rarefação, altera a densidade na camada adjacente ao meio pelo qual o som será transmitido, gerando uma diferença de pressão que causará um deslocamento adjacente. Portanto, o ciclo de propagação de um som pode ser visualizado na Figura 7.

Conforme indica Moyses ([NUSSENZVEIG, 2006](#)), há parâmetros quantitativos que vão influenciar na percepção auditiva: intensidade, altura e timbre. A intensidade

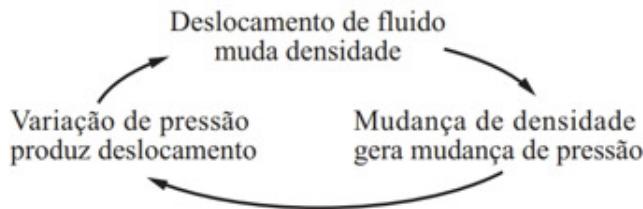


Figura 7 – ciclo de propagação do som

se relaciona com a amplitude da onda sonora. A altura se relaciona com a banda na qual aquele som está localizado, seja nas frequências baixas, tendo uma característica grave, seja aguda, tendo sua banda localizada em altas frequências em relação à banda de frequência audível pelo ouvido humano. Já o timbre são sons que possuem a mesma frequência principal, que o autor chama de "tom fundamental da frequência", porém, possuem outras componentes em frequências maiores, que tornam o som reconhecível, apesar de terem o mesmo tom fundamental da frequência.

### 2.3.2 Audição Humana

Como Farnell observa ([FARNELL, 2010](#)), apesar que o corpo humano possa sentir vibrações de 1 a 20Hz, o ouvido humano é capaz de produzir a sensação de som a partir de 20 Hz até 10 kHz ou 20 kHz, dependendo da idade do ouvinte. A banda normal na qual a voz humana se localizada fica entre 300 e 3000 Hz, porém, harmônicos advindos de sons reais superam esse limite, inclusive superando os 20 kHz. Dessa forma, ao utilizar o Teorema de Amostragem, presume-se que a taxa de amostragem mínima, para que a reconstrução de um som amostrado seja realizada perfeitamente, seja de no mínimo 40 kHz.

### 2.3.3 História da Gravação e Reprodução de Som

A partir do som, a humanidade foi capaz de criar uma expressão artística denominada música, que cria a possibilidade da expressão de ideias, sentimentos, identificações, culturas e formas de entretenimento. Além disso, devido a evolução da tecnologia no século XX proporcionou uma grande difusão da música devido às novas possibilidades da gravação e reprodução.

O primórdio da gravação de um som é atribuído ao Thomas Edison, conforme Roads ([ROADS, 1996](#)), ao inventar o fonógrafo em 1877. Ao longo da história, aperfeiçoou-se a forma de gravação, armazenamento e reprodução de música, seguido por gramofone, gravadores de fios, fita magnética, vinil. Esses dispositivos utilizavam gravação analógica.

O primeiro formato digital amplamente utilizado foi o CD. Outros formatos dig-

itais tentaram alcançar a mesma popularidade do CD, como o MiniDisc, DVD de áudio e o Blu-Ray áudio; porém, somente os arquivos digitais, destaque ao MPEG-2 Audio Layer III, mais conhecido como MP3, conseguiram alcançar e superar a popularidade do CD. A esse sucesso se deve a utilização de métodos eficientes de compressão e de compartilhamento, que possibilitou o padrão como o principal meio de compartilhamento de música, acompanhando a ampliação do acesso ao computador e de dispositivos digitais capazes de reproduzir música se tornaram acessíveis.

### 2.3.4 Disc Jockeys *DJs*

Cada novo formato de mídia possibilitou novas formas de circulação de música. Cada mudança de formato de mídia provocou uma transformação na forma como a música é apreciada, partindo de apresentações ao vivo, passando reproduções via rádio, culminando em reproduções em qualquer lugar que houvesse um aparelho capaz de reproduzir a mídia. Com isso, surgiram pessoas que eram especializadas em realizar curadoria de músicas, o que influenciou muito e modificou o consumo de música, e transmitiam as músicas advindas de vinis.

Houve uma grande luta, segundo apontado por Brewster e Broughton (BREWSTER; BROUGHTON, 2014), para que DJs, que estavam transmitindo sua seleção nas rádios, pudessem ter apoio de gravadoras, porém, após a Segunda Guerra, a Capital Records formalizou esse apoio após perceber o potencial de divulgação de DJs em rádios. Esse sucesso que era localizado, pois cada *DJ* de uma região tinha influência sobre o que a população da região na qual a sua rádio tinha alcance, teve a potência de desenvolver gêneros e vertentes novas, uma vez que eles eram criadores de tendência.

Em 1943, Jimmy Savile, ao ver que um amigo foi capaz de conectar a saída de um gramofone a um rádio valvulado, como saída do sinal de áudio, teve a ideia de realizar um pequeno salão de dança no qual gravações de jazz seriam tocadas enquanto as pessoas poderiam dançar sem que houvesse a presença de uma banda. E assim se deu o início de um clube, segundo Brewster e Broughton (BREWSTER; BROUGHTON, 2014). Em seu segundo evento, Jimmy Savile trocou o rádio valvulado por um alto falante. A quantidade de pessoas nesse salão cresceu e Jimmy chegou a implementar essa ideia em inúmeros clubes em toda Inglaterra. Em um projeto específico, para diminuir o tempo de transição entre duas músicas, Jimmy teve a ideia de utilizar dois toca-discos.

Em 1957, conforme Brewster e Broughton (BREWSTER; BROUGHTON, 2014), Bob Casey promovia festas em ginásios de escola nas quais utilizava um toca disco conectado a um pequeno alto falante. Utilizando o sistema de áudio do ginásio, posicionava um microfone à saída do alto falante e transmitia em um sistema de áudio amplificado o que era tocado nos toca-discos. O seu pai, um engenheiro de som, criou um sistema no qual havia dois toca-discos, em 1955, com controle de volume para permitir a comutação entre

os discos e também permiti-lo comentar acerca do disco enquanto o volume da música era abaixado.

De acordo com Brewster e Broughton (BREWSTER; BROUGHTON, 2014), em 1964, durante The World's Fair em Nova Iorque, foi apresentado, por Alex Rosner, primeiro sistema estéreo no qual se utilizou dois canais de áudio, o que representou um grande avanço na experiência de escuta. Inspirados em sistemas de som utilizados na Broadway, David Mancuso e Alex Rosner criaram, para o The Loft (uma famosa festa alternativa), um sistema de som composto por *subwoofer* (alto-falantes dedicados aos tons graves) e *tweeters* (alto-falantes dedicados aos médios).

Já em 1971, Alex Rosner criou o primeiro *mixer* estéreo para *DJ*, visto na Figura 8, o Rosnie, para the Haven Club (um clube famoso da época). Esse equipamento contava com duas saídas: uma para o fone de ouvido e outra para as caixas de som; foi desenvolvido de forma que era possível selecionar de forma independente quais canais estavam ativos no fone, retorno da música para o *DJ*, e quais estavam na saída principal. Além disso, o mesmo controle *on/off* foi implementado para o microfone.

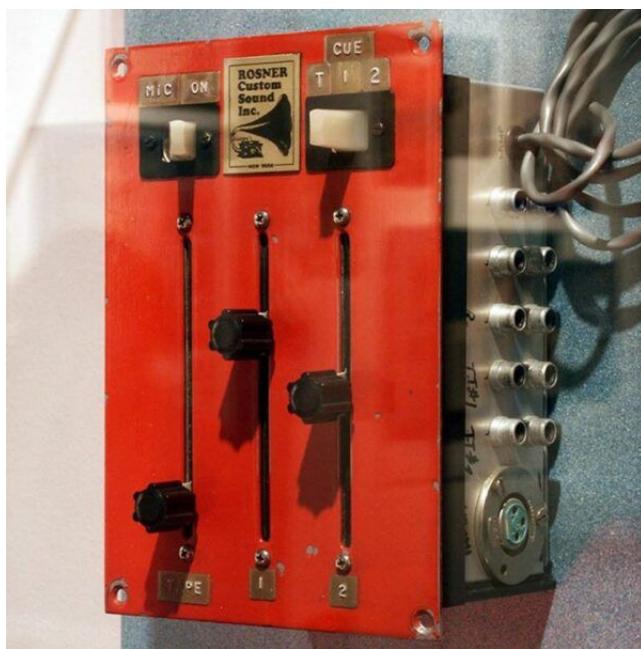


Figura 8 – Rosnie - inventado por Alex Rosner

O Rosnie foi o primeiro *mixer*, para aplicações fora de estúdios, capaz de controlar o ganho de bandas de frequências. Diferente das soluções anteriores que apenas conseguiam controlar o volume dos canais, esse equipamento possibilitou, que de forma natural, mixassem com dois discos simultaneamente, de forma que as transições realizadas fossem extremamente suaves, muitas vezes não compreendendo quando acabava uma música e começava outra. Porém, esse equipamento não foi criado com o intuito comercial.

Louis Bozak, auxiliado por Alex Rosner, criou o CMA-10-2DL em 1971, visto na

Figura 9, primeiro mixer estéreo comercializado que instantaneamente se tornou padrão nos clubes da época.



Figura 9 – CMA-10-2DL - Primeiro mixer estéreo comercial

Em 1972, a Technics criou o toca-disco SL-1200, Figura 10, que se tornou padrão entre os clubes devido ao *driver* do motor, que proporcionava durabilidade, estabilidade e precisão, o que auxiliava a mudança do BPM, simplificando o *beat matching* (sincronia de batidas) para a sincronia de duas músicas.



Figura 10 – toca-disco SL-1200

A partir de uma colaboração entre duas gigantes da indústria da música, Sony e Phillips criaram o CD em 1979, uma nova mídia capaz de armazenar e reproduzir músicas de forma extremamente compacta, leve e mais barata do que o vinil. No ano seguinte, a mesma colaboração desenvolveu o Red Book Audio, o formato de arquivo que viria a ser utilizado no CD, que utiliza PCM (*Pulse Code Modulation*) na sua codificação. Esses

desenvolvimentos culminaram em 1982 no início do consumo de CDs, que popularizou ainda mais o consumo de música ao redor do mundo.

Em 1986, a empresa Rane criou um mixer, Figura 11, focado para *DJs* cuja qualidade aproximava-se àquelas praticadas em estúdios de música, MP 24 DJ Club Mixer, o que possibilitou um aumento na qualidade do som reproduzido em clubes.



Figura 11 – mixer criado pela Rane

Em 1991, segundo Brewster e Broughton (BREWSTER; BROUGHTON, 2014), criou-se o MP3, um formato de permitiu a compressão do arquivo de áudio de forma que eliminasse conteúdo redundante. Rapidamente, esse método permitiu o compartilhamento massivo de músicas pela internet.

Nos anos 90, uma empresa que viria a ser a gigante dos equipamentos focados em *DJs*, a Pioneer, começou o lançamento de uma série de equipamentos que possibilitou a ampliação e a facilidade da atividade do DJ. Em 1992, a empresa criou a primeira CDJ, um equipamento que unifica inúmeras funções necessárias a mixagem, com suporte para CD. Já em 2001, a empresa lançou uma CDJ com leitor de cartões de memória e em 2007 a mesma lançou uma CDJ capaz de ler dispositivos USB; o que possibilitou que DJs não mais precisassem carregar toda sua discografia consigo, necessitando apenas de um dispositivo de memória digital para ter a sua coleção em mãos.



Figura 12 – CDJ-300 - primeira CDJ da Pioneer

Na década de 2010, grandes empresas possibilitaram o *DJ* de tocar músicas que estavam armazenada nas nuvens e músicas que estivessem disponíveis em plataformas de streaming. Em 2024, a Apple lançou o Vision Pro, um óculos de realidade aumentada capaz de emular equipamentos de *DJ*, sendo necessário apenas um óculos de VR para que um *DJ* pudesse demonstrar suas habilidades e sua coleção, advinda de árdua pesquisa. Esse equipamento pode ser visto na Figura 13.



Figura 13 – mixagem virtual com o Apple Vision Pro

Ainda que haja muitas soluções inovadoras a respeito de formas de mixagem, a configuração que mais se encontra hoje é formada por duas CDJs e um mixer, conforme a Figura 14.



Figura 14 – configuração mais encontrada

Porém, há ainda configurações que evocam a qualidade sonora como aspecto primordial. Para esse público, continuam-se produzindo equipamentos analógicos que memoraram *layouts* de *mixers vintages*, como os *rotary mixers*, como pode ser visto na Figura 15



Figura 15 – *rotary mixer*

A mixagem não se limita ao entretenimento em um clube. O papel de um curador de músicas advém do tempo das rádios, e, conforme a tecnologia de reprodução, armazenamento e gravação de música evoluiu, a curadoria musical se tornou mais acessível.

A mixagem transcende a mera função de entretenimento em uma balada. Desde a expansão do conceito de música feito por John Cage ([CAGE, 2019](#)), no qual música se torna qualquer som, várias expansões conceituais tanto teóricas quanto práticas foram realizadas. Uma mix pode ser tanto o ato de um produtor musical ponderar a presença de cada instrumento ou cada canal em uma música ou o ato de criar uma nova música a partir de várias, com o ato de criar uma colagem sonora.

Uma mix possui estrutura e enredo, com início, meio e fim. Também diversos propósitos como entretenimento, relaxamento, meditação, cura, dança, apreciação e pesquisa, dentre outros. Além disso, os ambientes de circulação são variados, incluindo páginas de *streaming*, festivais, festas e até mesmo sessões individuais de *bedroom djing* (*DJs* que apenas tocam na sua própria casa, em geral, aprendendo a mixar). Nesse cenário, a liberdade do criador se estende para incluir não apenas misturas de músicas de diferentes gêneros, mas também a incorporação de trechos de áudio de entrevistas, livros, filmes, paisagens sonoras e arte sonora, resultando em uma experiência única.

Além disso, a adição de performances ao vivo, com a utilização de sintetizadores e qualquer dispositivo capaz de gerar som, amplia ainda mais as possibilidades criativas. Desde o uso de sinais elétricos provenientes de eletrodos até a integração de elementos inusitados, como performances ao vivo, as opções são verdadeiramente infinitas, limitadas apenas pela imaginação do criador.

### 2.3.5 Parâmetros físicos

Quando um *DJ* mixa músicas, alguns parâmetros devem ser considerados durante uma música ou no momento da transição entre duas, tais como batidas por minuto (BPM), tom, volume, ganho e presença de componentes em bandas de frequência como graves, médios e agudos.

A evolução dos equipamentos de *DJs* pode ser descrita pelo acréscimo do controle de cada parâmetro citados acima, prezando por um design que facilite tomadas de decisões rápidas com a menor latência possível na saída de áudio, e melhorando também o processamento do áudio de forma que tenha a melhor qualidade possível.

Para a construção de uma melhor atmosfera musical, o controle de bandas de frequência é o mais importante, permitindo a adição e a subtração de elementos de uma música para a criação de uma nova música, que pode ser usado em um momento de transição entre músicas ou para dar uma nova roupagem a uma música. Por exemplo, acrescentar batidas a uma música que não tenha batidas, ou acrescentar vocal a uma música que seja somente instrumental.

O equalizador foi criado, segundo Izhaki ([IZHAKI, 2012](#)), pelo Bell Labs com o intuito de ajustar o que era transmitido e o ouvido devido à atenuação de altas frequências durante a transmissão do sinal pelos fios. Porém, para a produção musical, o equalizador é utilizado para manipular o conteúdo de bandas de frequências de diversos elementos musicais. Para a produção musical, considera-se sete bandas para a equalização.

Cada banda representa elementos que possuem características semelhantes. Conforme Izhaki ([IZHAKI, 2012](#)), as bandas de frequências de sons audíveis podem ser divididas em:

- Subgrave: entre 20 e 60 Hz estão os elementos como bumbo e baixo
- Graves baixos: entre 60 e 120 Hz estão tonalidades associadas ao bumbo e ao baixo
- Médios graves: entre 120 a 250 Hz onde estão as frequências fundamentais que ditam os tons naturais dos instrumentos
- Médios: entre 250 Hz a 2 kHz onde estão harmônicos de baixa ordem de vários instrumentos
- Médios Altos: entre 2 e 6 kHz onde há harmônicos complexos
- Agudos ou Brilho: entre 9 a 20 kHz onde há pouca energia para muitos instrumentos, porém, ainda assim é uma banda importante por estar associada ao brilho na música.

A quantidade de bandas e as definições dos intervalos pode variar entre teóricos, bem como entre equipamentos. Dessa forma, esses intervalos não são a regra. Porém,

quando se fala sobre DJs, a maioria dos equipamentos acaba dividindo o espectro de áudio em três bandas: graves, cuja banda varia de 20 a 250 Hz; médios, de 250 Hz a 4 kHz; e agudos, de 4 kHz a 20 kHz.

A essa escolha de bandas reduzidas se deve a necessidade de simplicidade e rapidez no uso, além de que em cada dessas três bandas há elementos semelhantes bastante definidos, que auxiliam muito na construção de uma boa mixagem. A Figura 16 ilustra os dois tipos de divisões de bandas apresentados acima.



Figura 16 – espectro de áudio

### 2.3.5.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados por *DJs* ao longo do tempo evoluíram. Partiram de equipamentos improvisados utilizados para outra finalidade até que foram inventados dispositivos para a finalidade específica foram criados. Há inúmeras configurações possíveis para se realizar uma mixagem. Primeiramente, deve-se saber qual a fonte de música é utilizada. Caso sejam vinis, deve-se utilizar toca-discos. Caso a fonte seja um dispositivo de memória digital como pendrive ou cartão de memória, no qual há uma série de músicas organizadas por um software de gerenciamento de música, deve-se utilizar uma CDJ. Caso o *DJ* queira fazer performances live na qual ele produz músicas ao vivo, pode-se utilizar notebooks, sintetizadores, samplers ou sequenciadores e inúmeros outros

## 2.4 Mixer

Um dispositivo que está sempre em qualquer *layout* montado é o *mixer*, cuja função é a de misturar e controlar canais de entrada de áudio. Quanto ao controle, inúmeras são as possibilidades, mas a mais usual é a de fornecer controle de bandas de frequência para canais de entrada de áudio. Cada dispositivo que reproduz música é lido como um canal de entrada. E esse equipamento é tanto capaz de controlar as bandas de frequência, quanto somar os sinais de áudio, gerando um sinal de saída, que é ligada a alto-falantes.

Os parâmetros para classificar um *mixer* como bom são muito subjetivos. Podem ser o design do equipamento, qualidade do áudio, distorção do som, manipulação precisa dos botões, ergonomia, portabilidade, preço, recursos como efeitos, referências históricas, integrações com *software* ou outros equipamentos. Além disso, cada pessoa tem seu gosto pessoal e o seu jeito de mixar prezando determinados aspectos.

O desenvolvimento da conexão entre dispositivos de áudio, segundo Winer ([WINER, 2012](#)), deve considerar três pontos: o sinal de áudio, impedâncias (de entrada e saída) e o tipo de conector.

### 2.4.1 Potência de Sinal de Áudio

Comumente, encontra-se uma entrada *phono* em *mixers*, correspondente aos dispositivos como toca-discos ou qualquer outro que emita sinais na ordem de miliVolts. Esses sinais necessitam de uma amplificação realizada posteriormente por um amplificador de potência para serem processados pelo sistema do *mixer*. Alguns dispositivos possuem a tensão de saída tão baixa que necessitam de um pré-amplificador para que o sinal possa estar na faixa ideal para que sua potência seja amplificada, para que esteja em um nível de linha.

Outra entrada comumente encontrada é a *line*, que são sinais que já estão em nível de linha. Conforme Winer ([WINER, 2012](#)), esses sinais possuem dois níveis padrões que são -10 dBV, em equipamentos não balanceados, e +4 dBu, para equipamentos balanceados. Equipamentos de linha profissional costumam a ser balanceados, ou seja, tensões RMS em torno de 1,23 V. Enquanto equipamentos não balanceados são de consumo, por exemplo, aparelhos de som, reprodutores de música e TVs, tensões em torno de 0,316 V.

### 2.4.2 Cabeamento

Condutores desbalanceados apresentam um fio para transmitir o sinal e possuem um terra em comum para gerar a referência ([BARTLETT; BARTLETT, 2009](#)). Na Figura 17, é possível verificar a transmissão através de cabos desbalanceados de um sinal acrescido de um ruído.

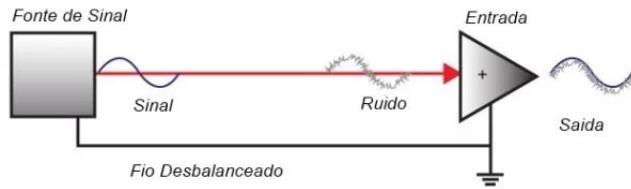


Figura 17 – fio desbalanceado

Já condutores平衡ados são cabos que utilizam dois condutores para transmitir o sinal, cobertos por uma blindagem. Ao final da transmissão, os sinais passam por um diferenciador capaz de extrair boa parte dos ruídos adquiridos nos fios durante a transmissão (BARTLETT; BARTLETT, 2009). Um esquemático dos fios para condutores平衡ados se encontra na Figura 18.

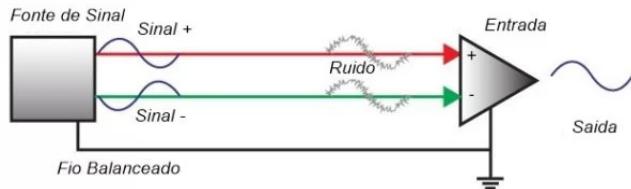


Figura 18 – Fio Balanceado

### 2.4.3 Conectores de 1/4", 1/8" (3,5 mm) e 2,5 mm

Para realizar a comunicação entre dispositivos, é necessário que haja tanto a transmissão de sinais elétricos quanto conectores. Cada tipo de conector possui vantagens relacionadas à transmissão de sinais, seja por: quantidade de canais, distância, potência, blindagem e interferência.

Um dos conectores mais conhecidos é o 1/4", Figura 19, principalmente utilizado em instrumentos como guitarras, violões, teclados e outros, podem ser encontrados em amplificadores e mixers, ou seja, em geral para o transporte de níveis baixos de potência. Devido à sua construção física que conta com dois condutores de sinal e um terra, esse tipo de conector pode ser aplicado em sinais estéreos não balanceados ou sinais mono balanceados (BARTLETT; BARTLETT, 2009).



Figura 19 – plug 1/4"

Existe uma versão menor da versão 1/4", sendo o 1/8", Figura 20, ou mais conhecido como 3.5 mm. Esse tipo de conector é muito encontrado em celulares, dispositivos de reprodução de música e alto-falantes. Internamente, ele possui a mesma construção do 1/4" e também consegue transmitir os mesmos tipos de sinais.



Figura 20 – plug 1/8"

Outra versão existente é o conector de 2.5 mm, que muitas vezes, ao invés de dois fios para a transmissão de sinais, conta com três; muitas vezes para adicionar o microfone em *headsets*. Esse conector pode ser visto na Figura 21.



Figura 21 – plug 2,5 mm

#### 2.4.4 RCA

O cabo RCA, Figura 22, muito utilizado nos primórdios de sistemas de telefonia, são também chamados de *phono* devido ao seu uso em toca discos fonográficos. Cada cabo RCA tem a capacidade de transmitir, de forma não-balanceada, sinais de áudio mono. Dessa forma, caso se queira transmitir um sinal de som estéreo, utiliza-se dois cabos RCA. Caso conecte-se um som mono, internamente há um chaveamento capaz de transmitir o sinal que tem apenas uma entrada, mono, e retransmiti-la pelo outro canal, de forma que os dois canais transmitam o mesmo sinal de áudio (BARTLETT; BARTLETT, 2009).



Figura 22 – cabo RCA

#### 2.4.5 XLR

É um tipo de conector de baixa voltagem chamado inicialmente de Cannon. Ele foi criado pela empresa Cannon com o intuito de transmissão de sinais平衡ados para aplicações profissionais devido a sua rejeição de ruídos e pela integridade do sinal (BARTLETT; BARTLETT, 2009). Esse conector pode ser visto na Figura 23.



Figura 23 – cabo XLR

#### 2.4.6 Protocolos Digitais

Conectores para transmissão de dados digitais também são utilizados em *mixers* e inúmeros outros equipamentos relacionados a áudio. Conectores como *Ethernet* e *Switch*, *USB*, *bluetooth* e *MIDI* também são utilizados para diversas configurações de equipamentos.

#### 2.4.7 Amplificação de Potência

Os principais níveis de tensões e potência existentes que mais são conectados a *mixers* são o *Phono* e nível de linha. A tensão do *Phono* se encontra entre 0,1 a 5 mV e a tensão de um nível de linha se encontra em torno de 2,0 V<sub>RMS</sub>. Segundo (SELF, 2013), é necessário que haja um intervalo de níveis de tensão para que o sinal possua um bom comportamento dentro do amplificado, de forma que não seja baixo o suficiente para que

os ruídos sejam maiores e se tornem mais presentes do que os próprios sinais, nem altos suficiente para que sejam saturados após a amplificação.

Dessa forma, quando um sinal *phono* entra no *mixer*, ele precisa ser amplificado internamente.

#### 2.4.8 Equalização

Conforme visto em seções anteriores, pode-se dividir todas as sub-bandas de frequência de som audível em três grande bandas: agudos, médios e graves.

Dessa forma, tradicionalmente, após o sinal ser amplificado, dentro do *mixer* pode haver controle de ganho ou atenuação das bandas.

À medida que a mixagem acontece, determinadas combinações de uso do ganho podem ser acionados. E, num estágio posterior, todos os canais são somados.

#### 2.4.9 Trim e Volume

Quanto à amplitude do sinal de áudio, há dois controles que frequentemente estão presentes em *mixers*: *trim* e *volume*. O *trim* é um controle sobre o ganho que um sinal obtém antes de ser processado pelo *mixer* e passar pelos controles de equalização. Serve para que o usuário consiga ajustar dois tipos de sinais para que apresentem o mesmo nível ou a combinação desejada; uma mais presente que a outra.

Já o *volume* é geralmente visto em um controle de *fader*. Esse botão serve para controlar a amplitude do sinal enquanto o sinal é equalizado, ou seja, posteriormente à amplificação do sinal.

#### 2.4.10 Conversão AD/DA

Quanto ao processamento dos sinais de áudio, pode-se dividir o tipo de processamento em dois grandes bloco: analógicos e digitais. Analógicos são feitos por circuitos analógicos e digitais são por computadores, DSPs e outros dispositivos. Porém, a diferença primordial é o estado no qual o sinal, enquanto processado, se encontra. Caso o sinal, enquanto esteja sendo processado, for analógico, o *mixer* é analógico, e vice-versa.

Dispositivos que reproduzem música como CDJs e toca-discos podem emitir sinais analógicos ou digitais, dependendo do equipamento e da saída utilizada. Dessa forma, caso o *mixer* necessite de sinais digitais e a saída do reproduutor de música for analógico, deve-se realizar a conversão analógico digital e vice-versa.

De forma parecida, o sinal de saída do *mixer* deve ser analógica pois passará por um amplificador de potência para que, posteriormente, vá para alto-falantes. Ou seja, caso

o processamento seja realizado de forma digital, o sinal deve passar por uma conversão digital analógica.

# 3 Metodologia

## 3.1 Proposta Geral

Nessa seção, inserir a proposta geral em termos de funcionalidade e de requisitos preliminares de entrada e de saída.

## 3.2 Prova de Conceito

### 3.2.1 *PureData*

### 3.2.2 Implementação de Mixagem

### 3.2.3 Implementação de Efeitos

## 3.3 Proposta de Implementação

### 3.3.1 Implementação em *Hardware*

### 3.3.2 Implementação em *Software*

### 3.3.3 Integração

## 3.4 Proposta de Implementação - Old Section

Ao analisar a história de mixers e equipamentos e o mercado atual, chega-se a conclusão de que a evolução dos equipamentos foi e é realizada partindo de um modelo que se baseia na mixagem feita em vinil. Ao longo do tempo, acrescentou-se novas funcionalidades e formas de interações, porém, na maioria das vezes, mantendo o jogger para atraso e avanço da música, fadder para volume e knobs para frequências.

Além disso, conforme a evolução da microeletrônica, equipamentos começaram a migrar aos poucos para a eletrônica digital, culminando na utilização de um DSP para o processamento do sinal de áudio para comportar formatos de música com baixa compressão como WAV. e FLAC.

Assim, o que se vê hoje são dois extremos: equipamentos extremamente caros mas que não necessitam da presença de um computador e equipamentos dependentes, que são mais baratos e acabam possuindo melhor qualidade nos processamentos, que dificultam a mobilidade.

Dessa forma, o intuito é conceber um mixer dotado de uma interface inovadora, que se destaque em relação aos modelos tradicionais por sua intuitividade. Para tanto, opta-se pela utilização da Raspberry Pi, aproveitando sua capacidade de processamento de sinais e sua flexibilidade para criar uma interface personalizada. Tal abordagem se mostra vantajosa em comparação com os equipamentos convencionais, como as CDJs, não apenas devido à sua funcionalidade aprimorada, mas também por apresentar um custo mais acessível.

### **3.4.1 Documentação**

Nas seções subjacentes, há uma série de documentações que visam a descrever e delinear o projeto a partir de diferentes óticas. Além disso, a informação contida de forma textual se encontrará melhor descrita graficamente através de diagrama, fluxogramas e outras ferramentas.

### **3.4.2 Levantamento de Requisitos**

#### **Requisitos Funcionais:**

- O sistema deve permitir ao DJ ajustar o volume de cada canal de áudio individualmente.
- O sistema deve fornecer controles de equalização (graves, médios, agudos) para cada canal de áudio.
- O sistema deve permitir ao DJ utilizar tanto CDJs quanto toca-discos.
- O sistema deve permitir ao DJ escutar canais não ativados ao público (cue).

#### **Requisitos Não Funcionais:**

- O sistema deve ser capaz de responder aos comandos do DJ com latência mínima, garantindo uma experiência de mixagem fluida.
- A interface do usuário do sistema deve ser intuitiva e fácil de usar, permitindo que o DJ faça ajustes rapidamente durante a performance.
- O sistema deve ser confiável e estável, capaz de lidar com longos períodos de uso contínuo sem falhas.
- O sistema deve oferecer uma qualidade de som de alta fidelidade, garantindo que o áudio reproduzido seja claro e sem distorções.

#### **Requisitos de Interface do Usuário:**

- A interface do mixer deve incluir indicadores visuais, como LEDs ou telas LCD, para mostrar o status dos diferentes canais e configurações.
- A interface do mixer deve ser configurável para facilitar a forma de mixagem do DJ.

#### **Requisitos de Sistema:**

- O sistema deve ser compatível com uma variedade de dispositivos de áudio externos, como CDJs e toca-discos.
- O sistema deve ser alimentado por uma fonte de energia padrão, como uma tomada elétrica.
- O sistema deve incluir interfaces de entrada e saída de áudio padrão, como conectores RCA ou XLR, para facilitar a conexão com outros equipamentos de áudio.

#### **Requisitos de Desempenho:**

- O sistema deve ser capaz de lidar com até dois canais de áudio simultaneamente, sem comprometer a qualidade do som ou a responsividade dos controles.
- O sistema deve suportar uma ampla gama de frequências de áudio, garantindo que os graves sejam reproduzidos com punch e os agudos sejam nítidos e claros.

#### **Requisitos de Interface de Usuário:**

- O sistema deve permitir ao DJ personalizar a aparência e layout da interface do usuário para atender às suas preferências individuais.
- O sistema deve ser compatível com dispositivos de entrada externos, como controladores MIDI ou dispositivos de toque, para permitir diferentes estilos de interação do usuário.

#### **Requisitos de Segurança:**

- O sistema deve ser projetado para minimizar o risco de danos aos equipamentos de áudio conectados, como proteção contra sobrecarga ou curto-circuito.

#### **Requisitos de Manutenção:**

- O sistema deve ser projetado para facilitar a manutenção e reparo, com acesso fácil aos componentes internos e documentação clara sobre procedimentos de serviço.

#### **Requisitos de Compatibilidade:**

- O sistema deve ser compatível com uma variedade de formatos de áudio comuns, como WAV, MP3 e FLAC.

### 3.4.3 Análise do Questionário

Um questionário foi aplicado pelo Digital DJ Tips; um portal de notícias e de cursos cuja abrangência possibilitou a coleta de mais de 1500 respostas ao redor do mundo, durante o dezembro de 2023 e janeiro de 2024. O questionário abrangeu informações divididas em seções como: informações demográficas, tipos e experiências, setup (hardware e software), estilos musicais e fontes musicais e, como último, social media. Através da análise do questionário, foi possível levantar algumas histórias de usuários.

### 3.4.4 Informações Demográficas

Nesse quesito, obteve-se uma distribuição crescente conforme a idade dos DJs. 25 a 34 anos teve 18,86%, 35 a 44 teve 28,45% e 45 a 54 obteve 32,33%. No questionário, não obteve-se respostas significativas de brasileiros. Dessa forma, esse perfil não corresponderia ao perfil do brasileiro.

Quanto a renda anual em atividades gerais, em dólares, as maiores faixas foram 25k - 50k, 50k - 75k, seguidos por 0 - 15k. Além disso, quanto a renda advinda da atividade de DJ, 40,86% não recebe pela atividade, já para 34,47% dos entrevistados 10% de sua renda advém de discotecagem.

### 3.4.5 Tipo de DJ e Experiência

A maioria, 53,92%, havia começado a tocar há mais de 10 anos. Além disso, percebe-se há um aumento de DJs que permanecem na atividade até 3 anos, porém, depois começa a cair. Porém, percebe-se que a maior faixa é daqueles que permanecem há muito tempo na atividade, há mais de 10 anos.

Outro ponto importante é o tipo de DJ que os entrevistadores são. A maioria, 27,49% toca regularmente em público, já 25,66% toca de vez em quando, logo em seguida estão: pessoas que tocam ocasionalmente para amigos e família.

Outro dado importante é que a maioria dos entrevistados são hobbistas/bedroom ou DJs focados em eventos como casamentos, aniversário, corporativos. Em seguida, encontram-se os que chegam a tocar mas não levam a atividade como fonte de renda. Em seguida, encontram-se os que têm a discotecagem como profissão, como: residentes, djs e produtores. Portanto, a maioria são hobbistas e DJs focados em eventos, sem ser clubes.

Porém, um dado interessante é que a maioria deseja se tornar um dj que vive em tour ou que possui residência em algum clube. Além disso, quanto a transmitir os sets, apenas 10% disponibiliza online os seus sets produzidos. Porém, quase 50% almeja a transmissão de seus sets pela internet.

Dessa forma, percebe-se todo tipo de estilo de DJ: aqueles que tocam em locais profissionais que provavelmente já contam com os equipamentos profissionais próprios e conforme cai a porcentagem dos resultados, percebe-se a diminuição da complexidade do equipamento devido ao sistema de som local.

### 3.4.6 Setup - Hardware e Software

Quanto ao equipamento utilizado, 56% toca através de um notebook e de uma controladora. Em seguida, 15% possui XDJ (All-in-one standalone). Além disso, 56% utiliza Pioneer como marca principal em seus equipamentos, seguido pela Denon.

Quanto ao montante investido no setup, a maioria gastor entre USD 1500 a 3000, seguidos por USD 1000 a 1500 e USD 3000 a 5000.

Outro dado importante, é que 63% das pessoas visam realizar uma atualização do setup a cada ano. Dentre aqueles que não podem, metade desses não fazem devido aos custos relacionados. E mesmo entre esses, 53% gostaria de adquirir Pioneer.

37% dos entrevistados disse que, quando são contratados, devem levar o próprio equipamento.

Quanto à inovação mais interessante, segundo os entrevistados, está a possibilidade, que tem sido vista em controladoras atuais, de separar uma música em elementos e ter a capacidade de tanto separar quanto de aplicar efeitos apenas nesse grupo de elementos em tempo real. Além disso, a possibilidade de utilizar uma biblioteca na nuvem e o desenvolvimento de softwares que mixam automaticamente também deixaram os entrevistadores animados.

Quanto às características mais importantes ao se adquirir novos equipamentos, a qualidade e durabilidade se encontraram em primeiro lugar, seguido de recursos, preços, marcas e integrações.

O software utilizado pelo DJ precisa poder ser integrado ao sistema de mixagem. O software é como a biblioteca é organizada e como o pendrive é organizado. Dessa forma, ao escolher um software, a pessoa deve levar em consideração os equipamentos que ela pode utilizar. Assim, 2/3 dos entrevistados se dividiram entre Rekordbox e Serato DJ.

### 3.4.7 Estilos musicais e aquisição de músicas

56% dos DJs mixa utilizando diversos tipos de gêneros. Em contrapartida, 1/4 dos DJs só mixa focado em um estilo. A diferença entre a mixagem entre um estilo e vários é a habilidade de elencar elementos semelhantes ou contrastantes para realizar uma mixagem.

Dentre os gêneros mais tocados, encontram-se house, hip hop, pop, tech house, techno, bass, EDM, disco, deep house e outros. Para servir como base da mixagem, DJs utilizam outros gêneros para servir como construção e presença de elementos. Os gêneros mais utilizados para essa presença são house, disco, hiphop, tech house, deep house, funk e techno. Porém, a presença de gêneros é bem diversa.

### 3.4.8 Proposta de Implementação do Protótipo

Quais são as funcionalidades necessárias para um Protótipo:

- Volume: o controle de volume exige dois knobs ou sliders: dois knobs ou sliders no total
  - Frequência: três knobs para cada canal: 6 no total
  - Trim: um knob para cada canal: 2 no total
  - Master: 1 knob no total
  - Headphone: 1 knob no total

Ao todo, 10 potenciômetros/knobs ou 8 knobs + 2 sliders

Quais botões são necessários?

- On/off -> 1 no otal

- Cue -> 2 no total

- Master -> 2 no

- 3.4.9 Diagramas de Subpartes
- 3.4.10 Diagrama de Integração
- 3.4.11 Diagrama de Comunicação
- 3.4.12 Fluxograma
- 3.4.13 Protótipo de Interface de Usuário
- 3.4.14 Documento de Especificação Técnica
- 3.4.15 Documento de Plano de Teste



# 4 Resultados Preliminares

## 4.1 Resultados de Filtragem

No Anexo A, há figuras correspondentes a ensaios realizados em um ambiente virtual *PureData* simulando filtragem em diferentes frequências de corte.

A partir de duas músicas: (JOCAFI, 2019) e (TYV, 2019), selecionou-se uma janela de duração de dois segundos. A escolha do intervalo dessas janelas levou em conta a presença de elementos de todas as bandas de frequência. Sobre essas janelas, utilizando um sistema de filtragem composto por filtros passa-altas.

As frequências de corte selecionadas foram de:

- 0 Hz
- 20 Hz
- 300 Hz
- 4 kHz
- 24 kHz

Assim, para cada caso de frequência de corte, obteve-se o comportamento do sinal tanto no domínio do tempo quanto sua representação no domínio da frequência utilizando Transformada de Fourier de Curto Termo (STFT - *Short Time Fourier Transform*). Assim, o par de representações em função da frequência de corte correspondentes a bandas de frequências, consolidadas na música, foi aplicado às duas músicas de referência.

Na Figura 24, há a janela do arquivo de áudio no domínio do tempo. Percebe-se a presença de *kicks* e de elementos de maiores frequências. Na Figura 25, a STFT dessa janela aponta a maior presença de elementos em baixa frequência. Da mesma forma como visto na Figura 24, percebe-se a variação de elementos de agudos conforme varia o andamento da música.

As próximas figuras do Anexo A correspondem à aplicação de filtros passa altas.

Posteriormente, um filtro passa-altas de 20 Hz foi aplicado ao sinal. Na Figura 26, pouco se percebe a alteração do sinal. O mesmo pode ser inferido ao se analisar a Figura 27, na qual não se percebe grandes alterações das componentes em frequência após a aplicação do filtro a uma frequência de corte de 20 Hz.

Em *mixers* convencionais, o botão correspondente às baixas frequências utiliza um controle de ganho na banda de 300 Hz. Dessa forma, deslocou-se o controle de frequência para que a frequência de corte se aproximasse de 300 Hz. O resultado dessa filtragem pode ser visto nas Figuras 28 e 29. Ao analisar a primeira figura, percebe-se a atenuação significativa dos sinais ao visualizar os valores máximo alcançados pela amplitude. Além disso, percebe-se também a ausência de sinais de baixa frequência, presentes na forma de envelopes nos sinais anteriores. A atenuação dessa banda pode ser verificada na Figura 29, onde se percebe a atenuação dos sinais de baixa frequência de aproximadamente 30 dB.

A próxima frequência de corte utilizada foi de 4 kHz, que conforme infere o capítulo 2, é onde se encontram os elementos médios. Inicialmente, na Figura 30 já se percebe a atenuação dos sinais em relação às filtragens anteriores. Porém, na Figura 31, onde há a STFT, observa-se a atenuação das componentes referentes à presente banda de frequência. A queda foi bastante acentuada, encontrando-se componentes em 0 dB em determinados pontos.

Para a música (JOCAFI, 2019), uma última análise foi realizada considerando que a filtragem foi realizada em toda banda. Dessa forma, utilizou-se uma frequência de corte de 24 kHz, de forma que os elementos restantes, tidos como agudos ou brilhos, fossem atenuados. Assim, verifica-se na Figura 32 uma atenuação de amplitudes de sinais quando comparados com as filtragens anteriores. Além disso, na Figura 33, percebe uma atenuação da banda correspondente, contendo elementos de 10 dB a -40 dB. E ao comparado com a STFT da filtragem anterior, percebe-se uma atenuação generalizada do sinal.

A mesma análise realizada na Música (JOCAFI, 2019) foi realizada a Música (TYV, 2019), de forma que os resultados no domínio do tempo e da frequência utilizando a STFT foram obtidos. O comportamento obtido foi conforme o esperado.

Deve-se atentar que conforme o botão avança na frequência de corte, a frequência de corte do filtro do canal 1 aumenta, de forma que as componentes são atenuadas começando pelas menores frequências e finalizando na maior frequência, enquanto para o canal 2, a frequência de corte começa sendo a máxima e termina sendo a mínima, de forma que as figuras mostrem as ampliações das componentes de frequência do sinal da Música (TYV, 2019).

Assim, nas Figuras 34 e 35, encontram-se frequências atenuadas entre 20 e -20 dB. Percebe-se ainda a presença de elementos em torno de 300 e 800 Hz, além de agudos na faixa de kHz. Nas Figuras 36 e 37, constata-se a amplificação de elementos na faixa de kHz. O que é verificado conforme se visualiza a Figura no domínio do tempo no qual se encontra uma ampliação dos sinais. Nas Figuras 38 e 39, identificam-se ampliações dos sinais e uma ampliação da banda a partir de 300 Hz, chegando a ter componentes por volta de 50 dB. Já nas Figuras 40 e 41, observa-se na representação do sinal no

domínio do tempo o envelope indicando sinais de baixa frequência no sinal ao se diminuir a frequência de corte a 20 Hz. Dessa forma, assim como aconteceu com a Música ([TYV, 2019](#)), o comportamento do sinal, tanto no domínio do tempo quanto sua representação na frequência foi similar ao obtido quando a frequência de corte vai a zero Hz; fato que pode ser visualizado nas Figuras [42](#) e [43](#).

## 4.2 Resultados de Efeitos

### 4.2.1 Automação de Efeitos

- 1) Inserir gráficos de presença de efeitos conforme a fc do mixers
- 2) O plot deve ser obtido variando a fc e obtendo o sinal isolado advindo dos efeitos.
- 3) Escolher intervalos discretos para fc conforme a proposta  $[fc1, fc2, fc3, fc4]$
- 4) Comparar a presença dos efeitos em relação ao plot de presença

### 4.2.2 Reverb

Aqui, escolher-se-á a maior fc para que se gere a maior presença de efeitos

Selecionará um intervalo discreto de presença de efeitos que permita visualizar a mudança de efeitos.

No caso de reverb, a quantidade de dB existente da música depois de 1 ms é utilizada, variando de 0 a 100 dB

Escolher valores de parâmetro e obter o sinal de saída isolado do efeito

### 4.2.3 Delay

No caso do delay, o mesmo conjunto de valores de parâmetros será utilizando

No caso do delay, o parâmetro a ser modificado é o de tempo em ms cuja cópia do sinal estará existindo



## 5 Conclusão



# Referências

BARTLETT, B.; BARTLETT, J. *Practical Recording Techniques: The Step-by-step Approach to Professional Audio Recording*. Focal Press, 2009. ISBN 9780240811444. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=E0uy8adetQoC>>. Citado 4 vezes nas páginas 45, 46, 47 e 48.

BREWSTER, B.; BROUGHTON, F. *Last Night a DJ Saved My Life: The History of the Disc Jockey*. Grove Atlantic, 2014. ISBN 9780802194367. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=MxTnBAAAQBAJ>>. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38 e 40.

CAGE, J. *Silêncio – Conferências e escritos de John Cage*. [s.n.], 2019. (Literatura / Música). ISBN 9788555911026. Disponível em: <<https://www.cobogo.com.br/produto/silencio-conferencias-e-escritos-de-john-cage-633>>. Citado na página 42.

FARNELL, A. *Designing Sound*. [S.l.]: The MIT Press, 2010. ISBN 0262014416. Citado na página 36.

IZHAKI, R. *Mixing Audio: Concepts, Practices and Tools*. Focal Press, 2012. ISBN 9780240522227. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=f-Rz8c73xh4C>>. Citado na página 43.

JOCAFI, A. C. . *Pé de Bode (Ney Faustini Edit)*. 2019. WAV, Gop Tun Records. Disponível em: <<https://goptun.bandcamp.com/track/p-de-bode-ney-faustini-edit>>. Citado 2 vezes nas páginas 59 e 60.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica, 2 : fluídos, oscilações e ondas. calor*. 4.ed.. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. ISBN 9788521207481. Citado na página 35.

NYQUIST, H. Certain topics in telegraph transmission theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, v. 47, n. 2, p. 617–644, 1928. Citado na página 33.

OPPENHEIM, A.; WILLSKY, A. *Sinais e Sistemas*. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 592p. p. ISBN 857605504X. Citado 5 vezes nas páginas 30, 31, 32, 33 e 34.

ROADS, C. *The Computer Music Tutorial*. MIT Press, 1996. (Mit Press). ISBN 9780262680820. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=nZ-TetwzVcIC>>. Citado na página 36.

SELF, D. *Audio Power Amplifier Design*. Focal Press, 2013. ISBN 9780240526133. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Poh4MAEACAAJ>>. Citado na página 48.

SHANNON, C. E. Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IEEE*, v. 37, p. 10–21, 1949. Citado na página 33.

TYV. *The White Calf*. 2019. WAV, Gop Tun Records. Disponível em: <<https://goptun.bandcamp.com/track/the-white-calf-tyv-edit>>. Citado 3 vezes nas páginas 59, 60 e 61.

WIDROW, B.; KOLLAR, I.; LIU, M.-C. Statistical theory of quantization. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 45, n. 2, p. 353–361, 1996. Citado na página 34.

WINER, E. *The Audio Expert: Everything You Need to Know about Audio*. Focal Press, 2012. ISBN 9780240821009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Hf0YQAUWGfgC>>. Citado na página 45.

ZÖLZER, U. *Digital Audio Signal Processing*. [S.l.]: Wiley, 2008. ISBN 9780470997857. Citado na página 34.

## Anexos



## ANEXO A – Gráficos de Filtragem

As figuras abaixo são representações de sinais no domínio do tempo, seguidas de sinais no domínio da frequência. Utilizou-se duas janelas de dois segundos de cada música para realizar as representações.

Cada representação conta com uma filtragem em uma determinada frequência de corte, de forma que se consiga visualizar a modificação do sinal conforme a aplicação dos filtros. As Figuras 24 a 33 se referem a uma música, enquanto as Figuras 34 a 43 correspondem a outra música utilizada na prova de conceito.

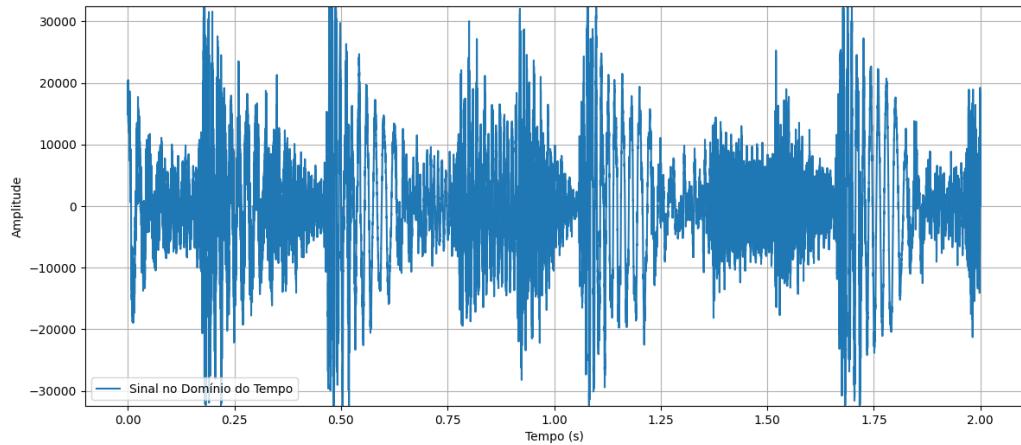


Figura 24 – música 1 no domínio do tempo sem filtragem

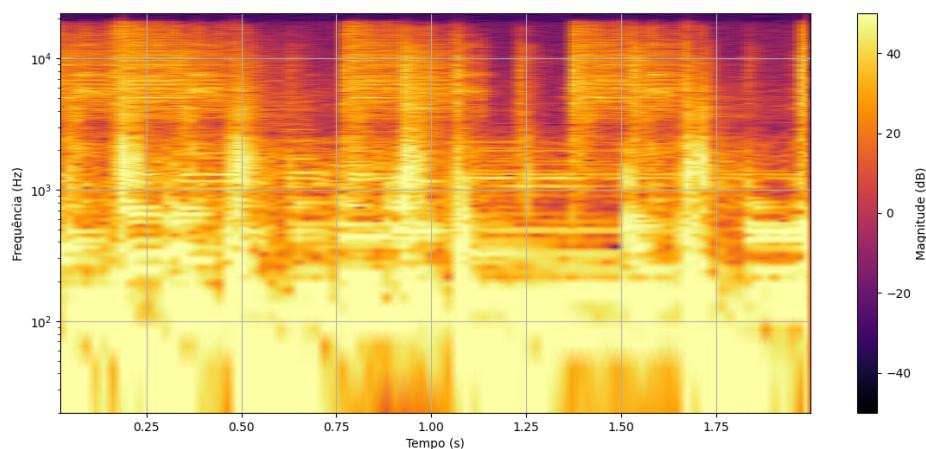


Figura 25 – música 1 no domínio da frequência sem filtragem

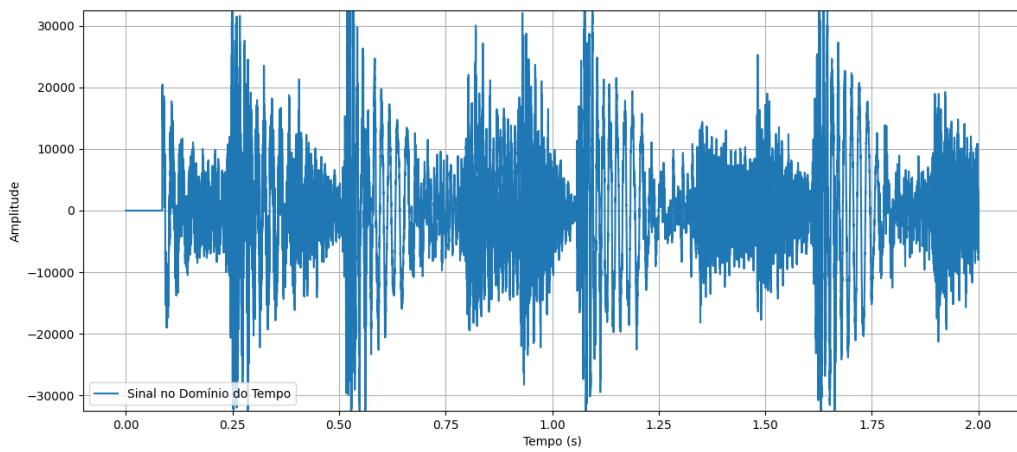


Figura 26 – música 1 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 20 Hz

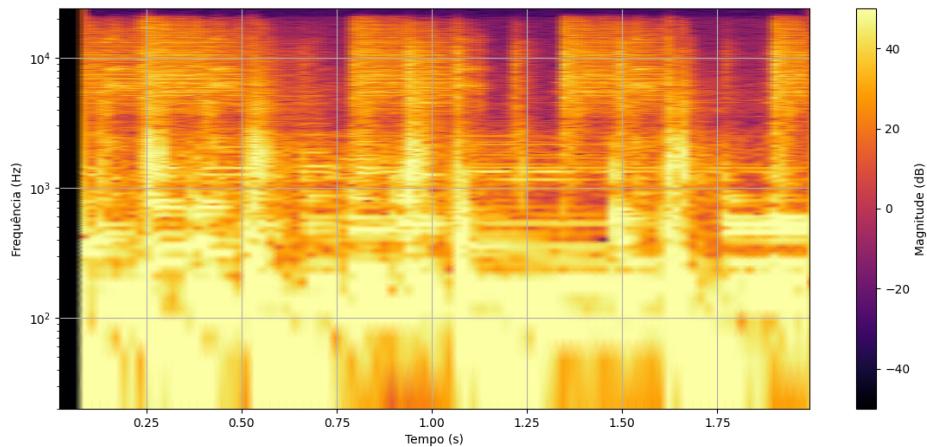


Figura 27 – música 1 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 20 Hz

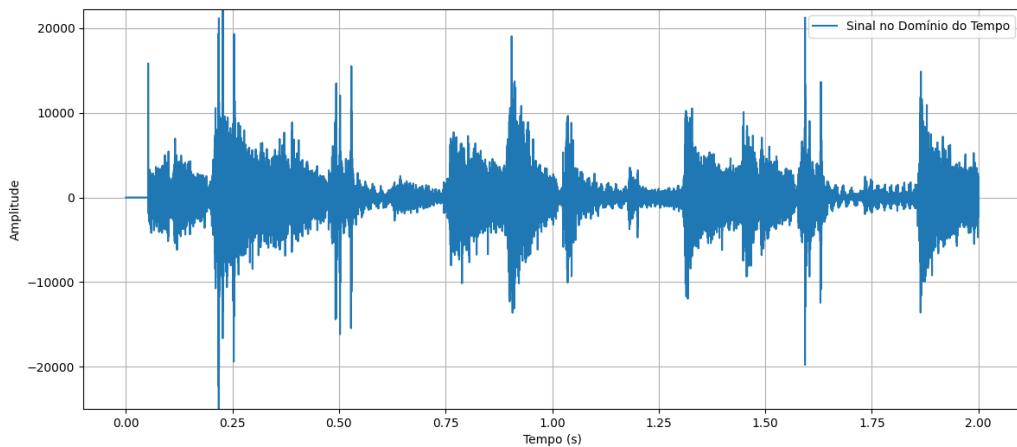


Figura 28 – música 1 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 300 Hz

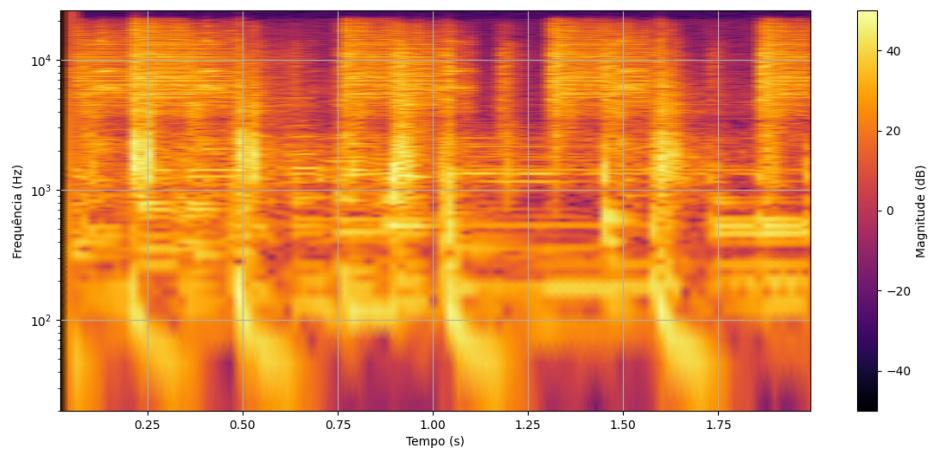


Figura 29 – música 1 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 300 Hz

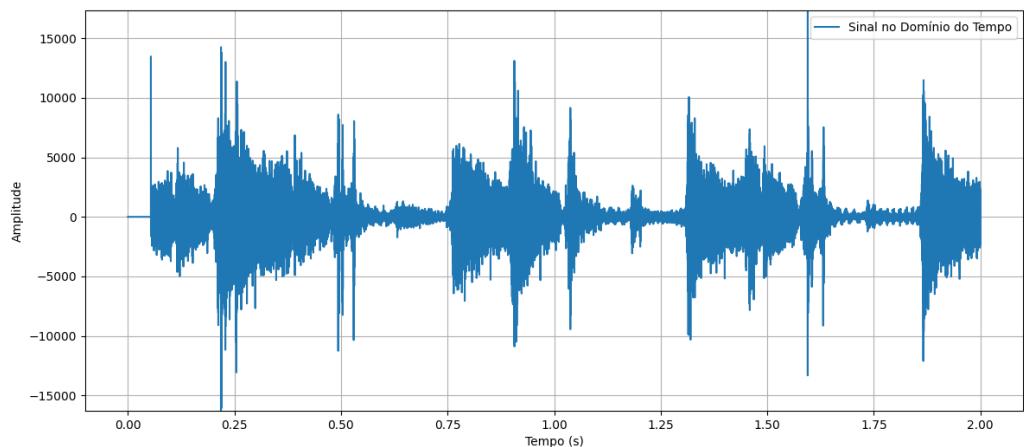


Figura 30 – música 1 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 4 kHz

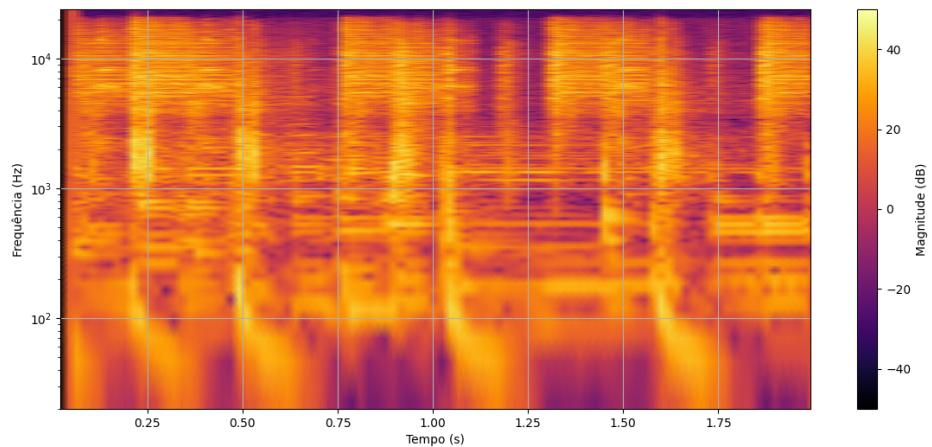


Figura 31 – música 1 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 4 kHz

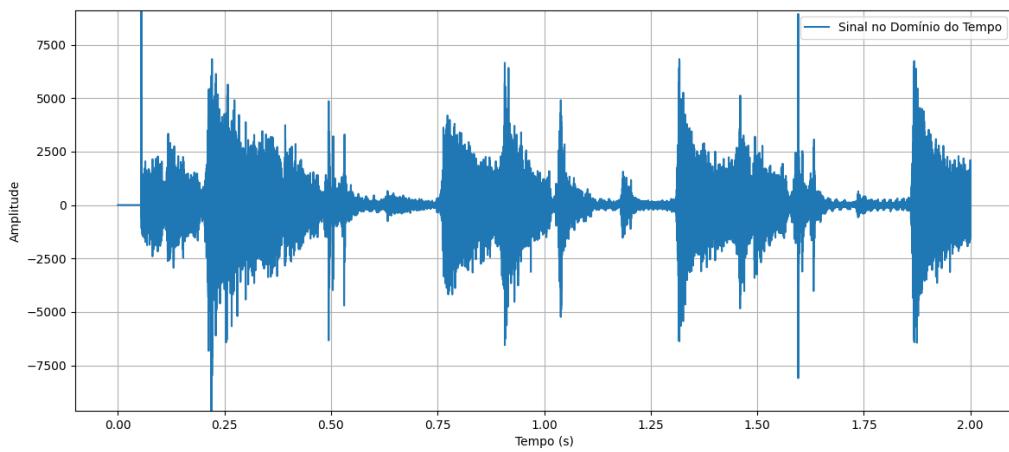


Figura 32 – música 1 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 24 kHz

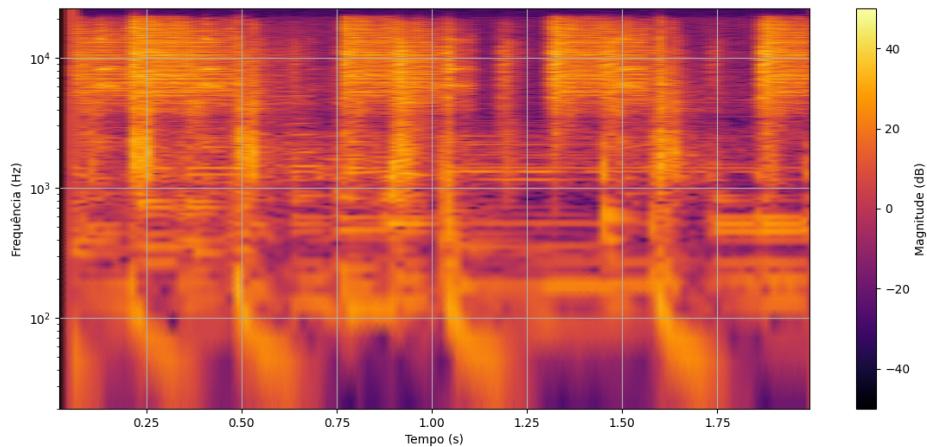


Figura 33 – música 1 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 24 kHz

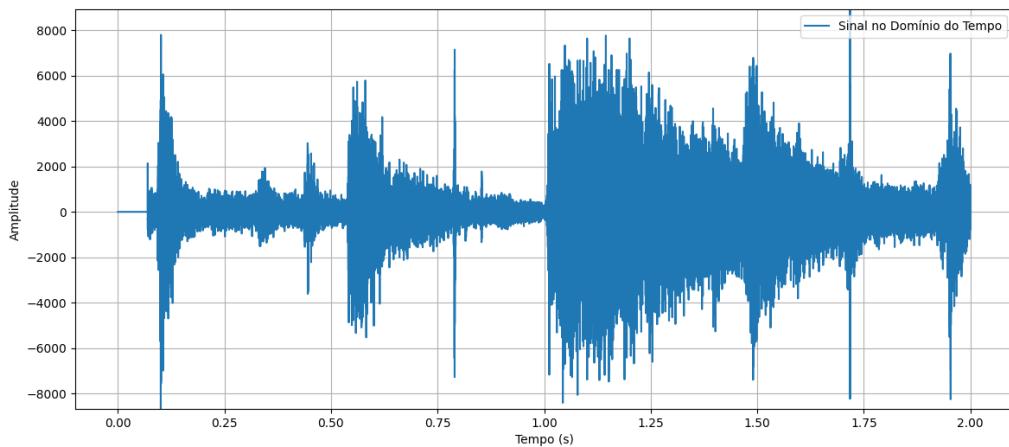


Figura 34 – música 2 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 24 kHz

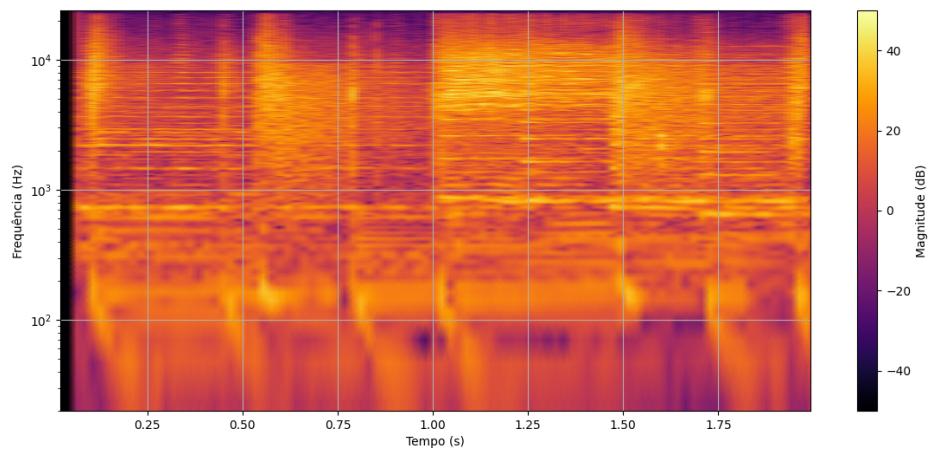


Figura 35 – música 2 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 24 kHz

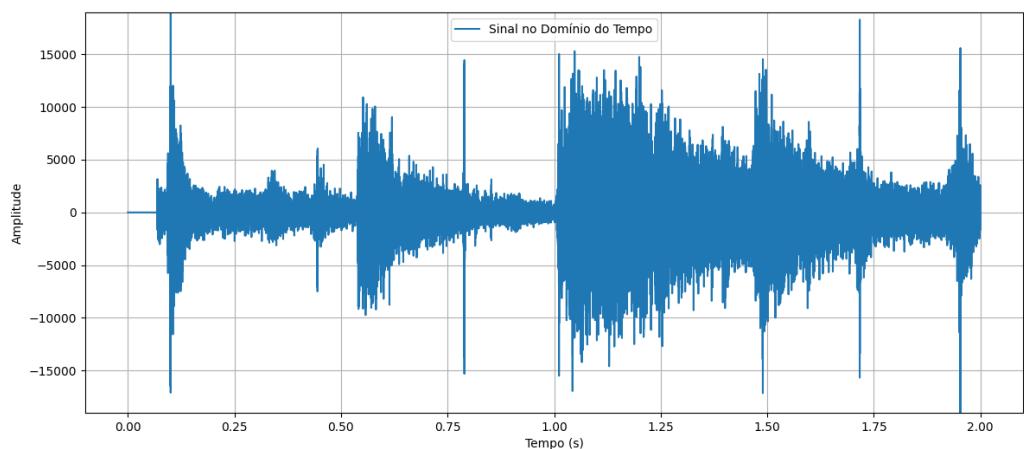


Figura 36 – música 2 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 4 kHz

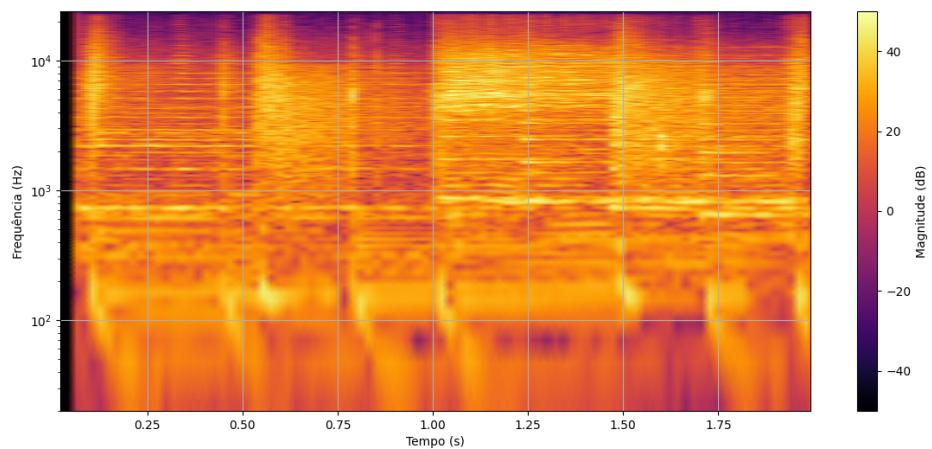


Figura 37 – música 2 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 4 kHz

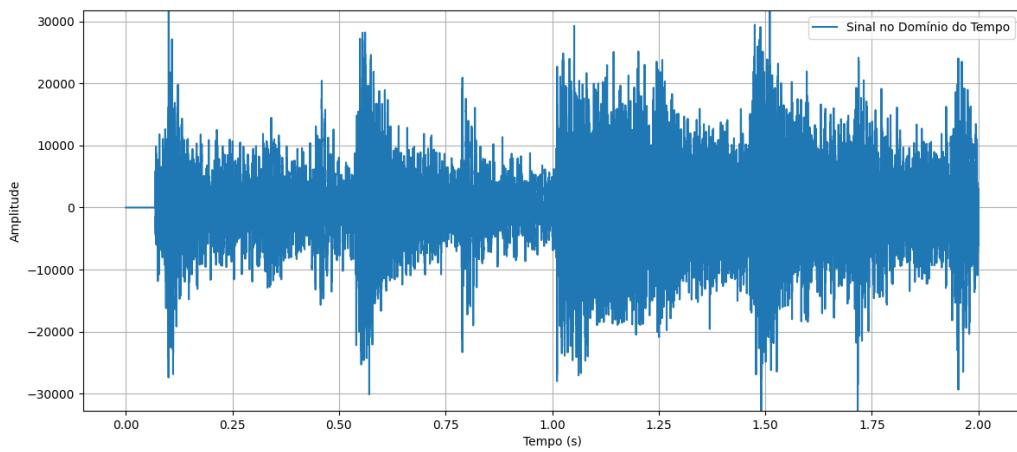


Figura 38 – música 2 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 300 Hz

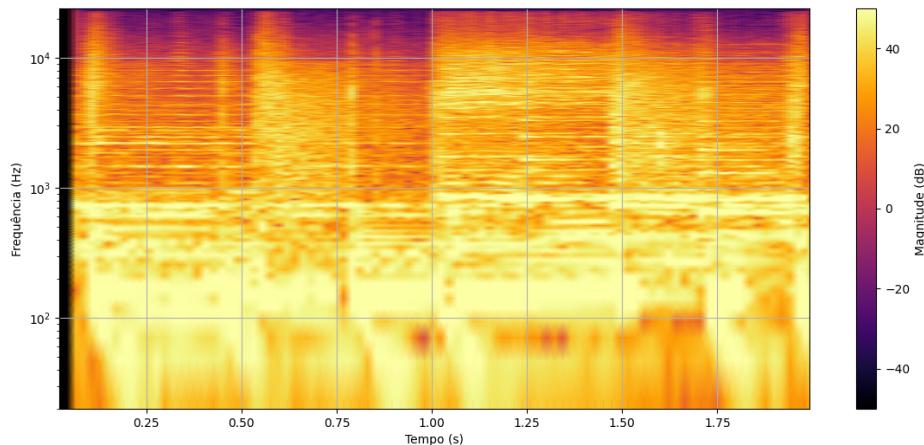


Figura 39 – música 2 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 300 Hz

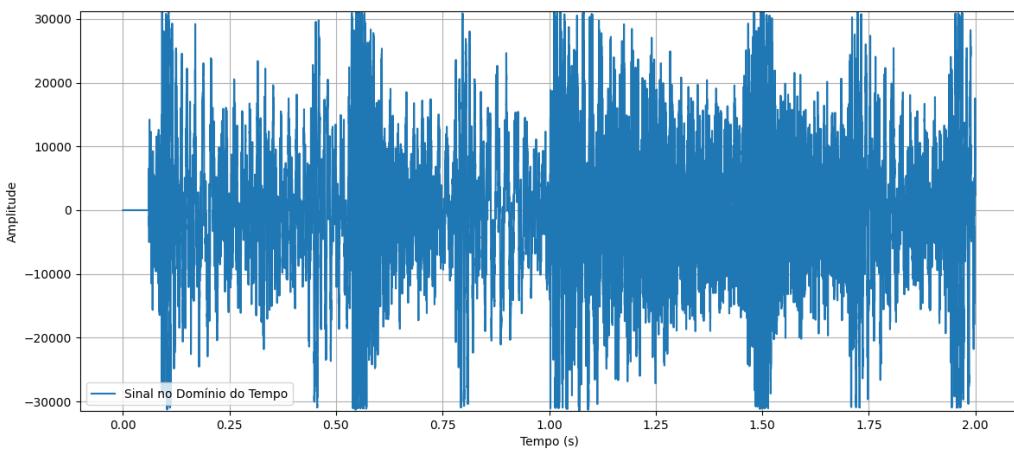


Figura 40 – música 2 no domínio do tempo com uma  $f_c$  de 20 Hz

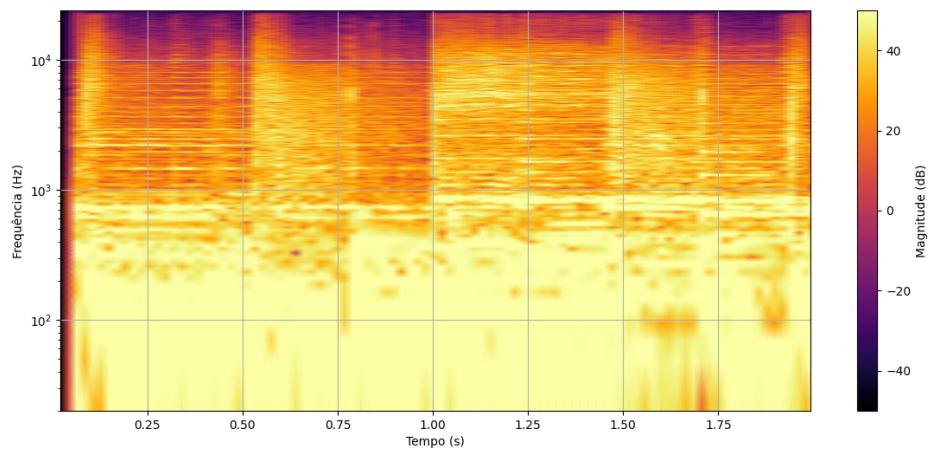


Figura 41 – música 2 no domínio da frequência com uma  $f_c$  de 20 Hz

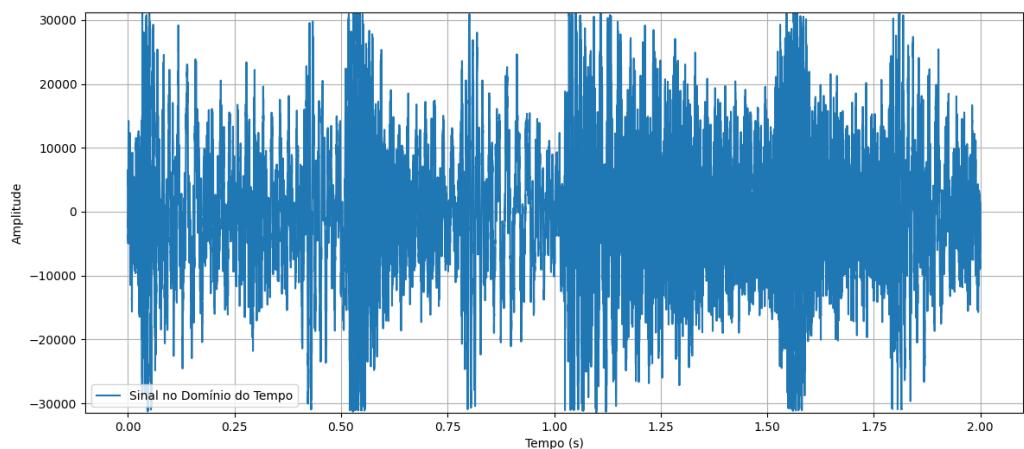


Figura 42 – música 2 no domínio do tempo sem filtragem

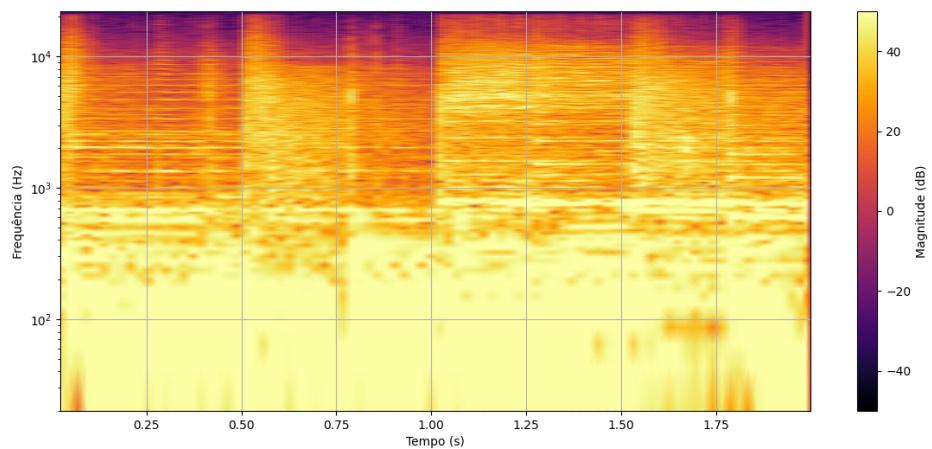


Figura 43 – música 2 no domínio da frequência sem filtragem