



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS SOCIAIS E APLICADAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

WELLYNGTON DA NOBREGA TARGINO

**Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas ao processo de Equalização
sonora**

**Patos-PB
2024**

WELLYNGTON DA NOBREGA TARGINO

Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas ao processo de Equalização sonora

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Programa de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação

Área de concentração: Inteligência artificial .

Orientadora: Profa. Dra. [Jannayna Domingues Barros Filgueira](#)

**PATOS
2024**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

T185t Targino, Wellyngton da Nobrega.

Técnicas de inteligência artificial aplicadas ao processo de equalização sonora [manuscrito] / Wellyngton da Nobrega Targino. - 2024.

43 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Jannayna Domingues Barros Filgueira, Coordenação do Curso de Computação - CCEA".

1. Tratamento sonoro. 2. Inteligência artificial. 3. Experiência do usuário. I. Título

21. ed. CDD 006.3

WELLYNGTON DA NOBREGA TARGINO

TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO PROCESSO DE EQUALIZAÇÃO
SONORA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Ciência da Computação da
Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciência da
Computação

Aprovada em: 19/11/2024.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rosangela de Araujo Medeiros** (***.723.558-**), em **28/11/2024 21:26:27** com chave **92c7c8c8ade811ef9f1f06adb0a3afce**.
- **Mikaelle Oliveira Santos Gomes** (***.466.104-**), em **28/11/2024 22:00:35** com chave **57783aa0aded11efb3a21a1c3150b54b**.
- **Jannayna Domingues Barros Figueira** (***.837.144-**), em **28/11/2024 21:25:21** com chave **6b1849ceade811ef82f406adb0a3afce**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Termo de Aprovação de Projeto Final

Data da Emissão: 30/11/2024

Código de Autenticação: ee932c

A Edicarlos dos Santos Targino, meu pai,
alicerce de toda minha busca por
conhecimento, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e meu irmão, por todo o apoio prestado e toda a compreensão durante esses anos de formação;

A minha família por todo o apoio prestado durante esse tempo;

Aos meus amigos que compreenderam e me apoiaram, tornando essa jornada mais suportável e agradável.

Resumo

O setor das mídias é caracterizado por ser um setor com altos investimentos, tanto por parte dos produtores quanto dos consumidores. Devido a este impulsionamento, este estudo objetiva realizar estudos de caso sobre o tratamento sonoro a fim de melhorar a experiência do usuário por meio da Inteligência Artificial. Esta melhoria se dá por meio de aplicação de filtros e de atenuações em locais que ocorrem picos sonoros ou em trechos que o áudio é de difícil compreensão por estar baixo. Tendo em vista o objetivo do estudo, foi necessário a utilização de banco de dados on-line para a obtenção de dados com as características do nicho que o projeto foi aplicado. O tratamento do áudio foi realizado aplicando a transformada de fourier e o filtro passa-baixa, além disso foi utilizado técnicas de aprendizado de máquina para a detecção dos picos sonoros e detecção dos trechos inaudíveis, com essa detecção foi possível realizar a atenuação do áudio.

Palavras-Chave: tratamento sonoro; inteligência artificial; aprendizado de máquina; experiência do usuário.

Abstract

The media sector is characterized by high investments from both producers and consumers. Driven by this growth, this research aims to conduct case studies on sound processing to improve user experience through Artificial Intelligence. This improvement is achieved by applying filters and attenuators in areas where sound peaks occur or in segments where audio is hard to understand due to low volume. In line with the research objective, it was necessary to use online databases to obtain data with characteristics of the niche where the project will be applied. Audio processing was done by applying the Fourier transform and a low-pass filter, as well as using machine learning techniques to detect sound peaks and inaudible segments. With these detections, it was possible to perform audio attenuation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Como se forma uma onda sonora.....	15
Figura 2 – Gráfico de sinal digital e analógico.....	16
Figura 3 – Gráfico passa-baixa.....	17
Figura 4 – Gráfico passa-alta.....	17
Figura 5 – Gráfico passa-faixa.....	18
Figura 6 – Gráfico rejeita-faixa.....	18
Figura 7 – Gráfico filtro low shelving.....	19
Figura 8 – Gráfico filtro high shelving.....	19
Figura 9 – Gráfico de onda sonora.....	20
Figura 10 – Sonograma exemplo.....	25
Figura 11 – Sonograma com marcação de limiar.....	25
Figura 12 – Sonograma com detecção de picos.....	26
Figura 13 – Código atenuação.....	27
Figura 14 – Filtro passa-baixa.....	28
Figura 15 – Sonograma resultado 1.....	31
Figura 16 – Sonograma resultado 2.....	31
Figura 17 – Gráfico referente à primeira pergunta.....	32
Figura 18 – Gráfico referente à terceira pergunta.....	33
Figura 19 – Gráfico referente à sexta pergunta	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das respostas da segunda pergunta.....	32
Quadro 2 – Síntese das respostas da quarta pergunta.....	34
Quadro 3 – Síntese das respostas da quinta pergunta.....	34
Quadro 4 – Síntese das respostas da sexta pergunta.....	36
Quadro 5 – Síntese das respostas da oitava pergunta.....	36
Quadro 6 – Síntese das respostas da nona pergunta.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor analógico-digital
ACC	Advanced Audio Coding
DAC	Conversor digital-analógico
DL	Deep Learning
FFT	Fast Fourier Transform
IA	Inteligencia Artificial
LTI	Linear invariante no tempo
ML	Machine Learning
MP3	MPEG-1 Audio Layer 3
PR	Pattern recognition
RNA	Rede Neural Artificial
WMA	Windows Media Audio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivos.....	11
1.1.1. Objetivo Geral.....	11
1.1.2. Objetivo Específico.....	11
1.2. Justificativa.....	11
1.3. Metodologia.....	11
1.4. Organização do trabalho.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. Processamento de sinais.....	14
2.1.1. O que é um sinal?.....	14
2.1.2. Sinal digital x sinal analógico.....	14
2.1.3. Filtros digitais.....	15
2.1.4. Equalizador.....	18
2.2. Composição do som.....	19
2.2.1. Frequência.....	19
2.2.2. Intensidade.....	20
2.2.3. Acústica.....	20
2.3. Transformada de Fourier.....	20
2.4. Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas ao tratamento de áudio.....	21
2.5. Rede Neural Artificial.....	21
2.6. Trabalhos relacionados.....	22
3. METODOLOGIA.....	23
3.1. Aplicação.....	23
3.1.1. Coleta de dados.....	23
3.1.2. Tratamento e pré-processamento dos dados.....	23
3.1.3. Algoritmo de IA.....	24
3.1.4. Finalização.....	25
3.1.5. Testes da Aplicação.....	26
3.2. Teste de experiência do usuário.....	27
4. RESULTADOS.....	29
4.1. Resultado testes da aplicação.....	29
4.2. Resultado teste de experiência do usuário.....	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6. REFERÊNCIAS.....	38
APÊNDICE 1 – Código IA.....	40
APÊNDICE 2 – Código filtragem de intervalo de tempo.....	41
APÊNDICE 3 - Link para os áudios.....	41
APÊNDICE 4 - Formulário para o teste de experiência do usuário.....	41

1. INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta uma alternativa de tratamento sonoro para os métodos comumente utilizados na reprodução de áudio pelas mídias digitais em filmes, músicas e entre outros.

Quando se aborda a parte sonora das mídias, traz à tona uma área com grande investimento, tanto por parte das empresas como dos usuários. Por motivos de que os recursos sonoros desempenham um papel importante dentro dos agentes multimídias, uma vez que, eles vão além de uma utilização de forma de retorno de informação, pois, sua presença compõem a mensagem para possibilitar uma melhor experiência sonora (Ferreira,2020).

Quando se observa as produtoras das mídias ou até mesmo fabricantes de *hardwares*, nota-se uma busca por formas de processamento sonoro para que os usuários tenham uma melhora na experiência ao usufruir tanto do produto como das mídias.

Quando se é referente aos usuários, pode-se observar os usuários que são amantes de uma boa qualidade sonora - chamados de Audiófilo -, que são consumidores que não têm estima do investimento feito para terem um sistema que satisfaça suas preferências (Rocha; Santos; Melo, 2005).

Além disso, também destaca-se pessoas que têm a necessidade de que o som seja algo mais agradável por questões de saúde, nesse segundo caso se pode destacar as pessoas que têm o transtorno do espectro autista e possuem a anomalia de hipersensibilidade auditiva.

O eixo em que esse trabalho está situado é a questão de dar um avanço no tratamento da qualidade sonora para que, tanto as produtoras como as fabricantes, possam utilizar deste estudo para melhorar o desempenho da reprodução do áudio, como também para os usuários audiófilo ou que necessitam por questões de saúde, tenham uma experiência mais prazerosa e reconfortante.

Para fins de comparação, se tem a visualização que atualmente, quando se analisa a equalização sonora do método atual, pode-se notar que o grande problema é que nela não se há uma adaptação durante o processamento da mídia, fazendo assim que possa haver alguns erros durante o processamento da mídia.

Para ter uma melhor exemplificação atualmente são utilizados vários tipo de equalizadores, pode-se citar o *shelving*, gráfico¹, paramétrico e entre outros. Cada um tem seu caso de uso específico, mas o importante é analisar a forma com que eles trabalham, pois tem sua execução feita de uma maneira padronizada que retorna um áudio mais engessado e menos flexível.

A equalização do som por meio de Inteligência Artificial, foi feita realizando a detecção de picos sonoros ou sons inaudíveis, com a detecção pode-se enquadrar o trecho do som em uma faixa classificatória, essa faixa de áudio servirá para que o algoritmo possa aprender com que configuração o algoritmo terá que realizar o balanceamento do áudio no determinado trecho classificado.

Dessa forma, o som proveniente de algum determinado aparelho terá um balanceamento sonoro que fará com que o som não fique baixo demais e seja inteligível para o usuário, e nem fique alto demais fazendo com que seja algo desprazeroso. Dessa forma pode-se tornar a experiência de assistir a um filme/vídeo ou até escutar um áudio algo mais satisfatório e prazeroso para todos os usuários envolvidos.

¹ Os tipo citados são tipos de equalizadores que será apresentado posteriormente

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Propor uma análise sobre o tratamento sonoro utilizando técnicas de Inteligência Artificial de modo que torne a experiência do usuário mais confortável e prazerosa.

1.1.2. Objetivo Específico

- Selecionar áudios em bancos de dados para aplicar técnicas de equalização;
- Identificar picos de áudio desconfortáveis para o usuário;
- Aplicar técnica de IA na equalização de áudio;
- Desenvolver uma aplicação para tratamento e equalização de áudio;
- Realizar testes com os usuários;

1.2. Justificativa

A relevância desse estudo pode ser evidenciada quando se fala tanto em questões de saúde como questões de experiência do usuário.

Quando se refere a experiência do usuário, pode-se destacar a questão do conforto ao escutar o som proveniente de alguma determinada mídia, podendo ser filmes, vídeos e até mesmo músicas em algum player, pois quando há uma desregulação na questão do balanceamento do áudio proveniente dessas mídias pode ocorrer que haja um trecho indescritível pelo áudio ser baixo de mais, ou um trecho que ocorra um pico sonoro, mesmo sem controle do usuário, e torne a experiência desprazerosa.

Ao que se refere ao quesito saúde do usuário, pode-se destacar a hipersensibilidade auditiva no transtorno do espectro autista, a hipersensibilidade auditiva está dentro das alterações sensório-perceptuais que podem acometer até 90% dos autistas, (Gomes, 2008). Estas características citadas podem trazer bastante estresse para as pessoas com esse transtorno, visto que, quando há alguma desregulação no som proveniente de uma determinada mídia pode ser que pelas pessoas com este transtorno e que detenham essas sensibilidades sonoras podem se sentir bastante incomodadas.

Tendo em vista esse motivo, pode-se afirmar que ter uma equalização sonora controlada por um software que detenha a tecnologia de inteligência artificial e *machine learning*, poderá garantir uma melhor experiência do usuário e também evitar quaisquer problemas relacionados à saúde dos usuários.

1.3. Metodologia

Para a realização deste estudo, algumas etapas foram realizadas, como a pesquisa por banco de dados com áudios e com características adequadas ao objeto deste estudo. Os bancos de dados online *freesound* e a *BBC rewind* foram

selecionados, pela circunstância de serem bancos de dados gratuitos e com uma ampla variedade de áudios disponibilizados pela comunidade.

Após selecionar as bases de dados, iniciou-se a etapa de seleção dos áudios que se enquadram no caso de estudo do projeto, para realização dessa seleção foram escolhidos áudios com diversas características presentes em filmes, séries, animações e entre outros. que pudessem causar desconforto aos usuários ou ser algo de difícil compreensão, como por exemplo sons de tiro, explosões, música alta e diálogos baixos. Após a seleção dos áudios que se enquadrar nas características necessárias, se deu início ao download para o repositório no qual o programa se encontra.

Em seguida, inicia-se a pesquisa pelos algoritmos destinados à implementação da análise e tratamento do áudio. Para a análise dos dados provenientes dos áudios foi utilizado a transformada de Fourier e a detecção de picos por meio da IA, a transformada de Fourier foi utilizada para a conversão do sinal em suas componentes, com isso é possível a visualização de onde ocorre cada alteração no sinal, conseguir captar o local no qual ocorrem os picos sonoros e conseguir realizar a aplicação dos tratamentos.

A detecção de picos por meio da IA, possibilitou a análise de todo o vetor de áudio por meio da biblioteca *torch*, a biblioteca *torch* proporcionou uma maior liberdade na customização da rede neural que retornaria o resultado da detecção de picos. A rede neural após treinada e ser colocada para analisar toda a lista de amplitudes, retornou uma outra lista de mesmo tamanho que nos informava em que determinado índice a probabilidade de haver um pico naquele momento, tendo como parâmetros 1 para o trecho do áudio que tivesse maior probabilidade de haver um pico e 0 para o que tivesse menor probabilidade.

Após a detecção dos picos, foi filtrado o intervalo de tempo que ocorriam os picos, com isso foram obtidos dois resultados. O primeiro resultado foi utilizado o filtro passa baixa e também foi realizada a regulação do som nos picos sonoros, para a realização desse resultado se optou pela seguinte execução: o filtro passa baixa foi implementado como uma função python que nela foi utilizado os módulos *butter* e *filtfilt* da biblioteca *scipy* - nativa do *python* - com esses módulos foi desenvolvido a função que simula o funcionamento do filtro passa baixa. A função desenvolvida foi utilizada no áudio selecionado para o teste. Com a aplicação do filtro executado, se deu início a regulação do som, que se concretizou por meio de um algoritmo que realiza a atenuação do sinal. Esse algoritmo necessita de pré-configuração, para esse pré-configuração foi necessário a captação dos intervalos de tempo no qual a regulação ocorreria, essa captação foi realizada pela detecção de picos por meio da IA.

Após a detecção, inicia-se a etapa de upload do áudio. Para isso, é necessário normalizar o áudio para que não haja erros de formatação dos dados que compõem o áudio, essa normalização se deu por meio de um algoritmo implementado em uma função na linguagem python, e se tem como variável o faixa de bits que representa os números inteiros que pode impactar no áudio, pois a depender do áudio a faixa de bits pode utilizar o *int16*, *int32* e entre outros. Para solucionar, é realizada uma verificação de segurança. Após isso se inicia o upload do áudio no repositório finalizando o ciclo de produção do programa.

Com a aplicação completa, realiza-se os teste de experiência do usuário para ter um feedback de como os resultados estavam alinhados com o seu gosto pessoal e suas necessidades. Os testes foram realizados com 6 usuários diversos para

poder ter um pequeno embasamento sobre como a diversidade muda os resultados obtidos.

1.4. Organização do trabalho

Este estudo está organizado em cinco capítulos: O primeiro capítulo tem-se a Introdução. Nesta seção é apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos além da justificativa e metodologia, tem como propósito a abreviação de como foi desenvolvido o estudo e as etapas executadas, que posteriormente vão ser mais detalhadas no tópico metodologia.

O segundo capítulo versa sobre fundamentação teórica deste estudo, a princípio é apresentado as definições de sinal, sinal do tipo analógico e digital, filtros digitais e equalizadores. A composição do sinal e como ele é formado também é abordado. Em seguida é exibida a diferença entre sinal digital e sinal analógico, seguido das suas vantagens e desvantagens. Em seguida, o comportamento dos filtros digitais é abordado e a forma como manipulam o sinal digital. Posteriormente os equalizadores são apresentados e a forma que ele altera o sinal proveniente de alguma determinada fonte sonora é apresentado. Neste capítulo também é apresentado todo o embasamento teórico em relação a grandeza do som, como sua composição, frequência, intensidade e acústica. Por fim, é abordado as técnicas de inteligência artificial que manipulam o som e os trabalhos relacionados com a temática.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia do estudo. Neste capítulo, diferentemente do subtópico da introdução, é estudado com mais detalhe as etapas que foram desenvolvidas durante o estudo. Neste capítulo, tem-se o detalhamento dos algoritmos, métodos, técnicas utilizadas, teste da aplicação e testes de experiência do usuário.

No quarto capítulo os resultados são apresentados. Neste, dois resultados obtidos com o desenvolvimento do estudo são explanados bem como uma comparação de como cada resultado se comportou tanto em quesitos de experiência do usuário, que pode desfrutar dos dois resultados, como também da comparação de resultados de forma mais analítica vendo como as alterações realizadas nos dados do áudio afetou sua representação gráfica e se as diferentes mudanças impactaram na resultado final dos dados. Após a análise dos resultados da aplicação, tem-se a análise do teste de experiência do usuário que visa demonstrar a diferença de preferência dos usuários pelo resultado obtido.

O último capítulo apresenta as considerações finais do estudo. Neste capítulo, destaca-se alguns pontos positivos e negativos. Destaca-se também os pontos em que o estudo não teve um bom desenvolvimento e descreve possíveis trabalhos futuros, que indicam como melhorar o estudo e como ele pode ter continuidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se o embasamento teórico para uma melhor compreensão sobre os assuntos que servem de base para o entendimento deste estudo.

2.1. Processamento de sinais

2.1.1. O que é um sinal?

Tendo como base inicial, pode-se ter como conceito para uma sinal de áudio como qualquer representação de som que detenha todas as informações necessárias para que possa ser reproduzido (Smaniotto, 2023), assim esse sinal pode ser produzido e captado de diversas formas.

Esse sinal é capturado por meio de diversos aparelhos eletrônicos que captam as ondas sonoras, que segundo Smaniotto (2023, p.20) “O som é definido como uma oscilação ou superposição de oscilações na pressão de um meio com forças internas (elásticas ou viscosas), e suas grandezas fundamentais são a pressão e o tempo”. Na Figura 1 se é ilustrado como é a formação de uma onda sonora.

Figura 1 - Formação da onda sonora



Fonte: Instituto Claro (2017).

Na Figura 1, pode-se observar que para a formação do som é necessário a compressão do ar em intervalos de tempos para criar um sinal sonoro, que resulta na variação de pressão que chega ao sistema auditivo e gera um entendimento do sinal.

Dada essa captação do som por um meio eletrônico, ele vem de forma de sinal analógico, mas pode ser convertido para uma forma de amostragem digital que é mais fácil de ser manipulada por computadores, pode ser uma linguagem de baixo nível, ou seja, 0 e 1.

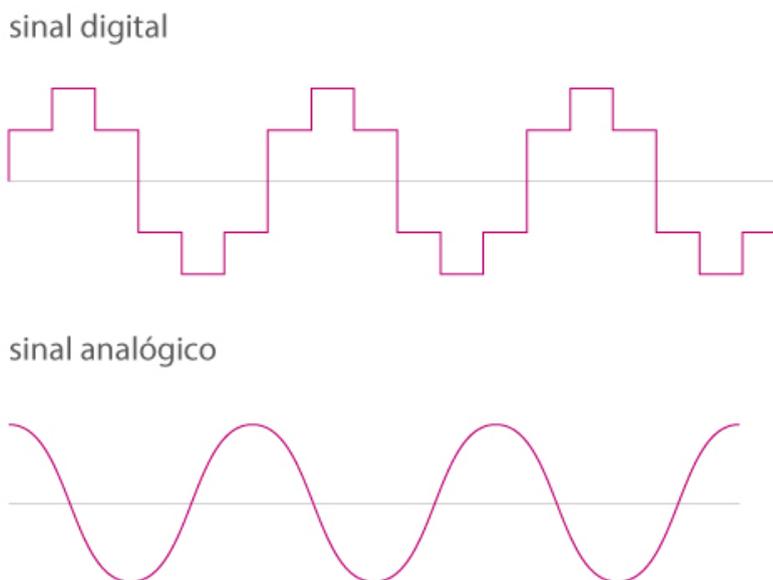
2.1.2. Sinal digital x sinal analógico

O sinal analógico em si é o sinal que durante o tempo que ocorrer ele varia entre os valores mínimo e máximo. Por outro lado, o sinal digital é o sinal que pode obter somente dois estados: 0 e 1. De acordo com o conceito de Smaniotto (2023,

p.23) “Sinais de áudio podem ser contínuos (tensão elétrica em circuitos analógicos) ou discretos (bits em circuitos digitais)”.

Para melhor compreensão de como se estruturaria um sinal analógico e um sinal digital, visualizar-se a Figura 2 é mostrado dois gráficos, o de sinal digital é notório que entre um valor e outro tem uma discrepância mais notável no gráficos, por enquanto que no sinal analógico pode-se notar que a discrepância é mais suave entre os valores formando algo mais discreto.

Figura 2 - Gráfico de sinal digital e analógico



Fonte: Cazamod (2024).

Para realizar a conversão de um sinal analógico para um sinal digital, se é realizando uma transformação do sinal em uma série de números, com esses números é medido a amplitude do som em intervalos fixos de tempo. Esse digitalização é feita em intervalos discretos (Dörr e Aylon, 2022).

Dado isso, essa conversão de sinal pode ser feita por meio de conversores, pois quando um sinal é digitalizado utilizando um ADC ou conversor analógico-digital, o sinal de áudio contínuo é amostrado e quantizado. A realização do processo contrário também é possível utilizando um DAC ou conversor digital-analógico, que tem como função converter o sinal digital em um sinal analógico filtrado e amplificado (Smaniotto, 2023).

2.1.3. Filtros digitais

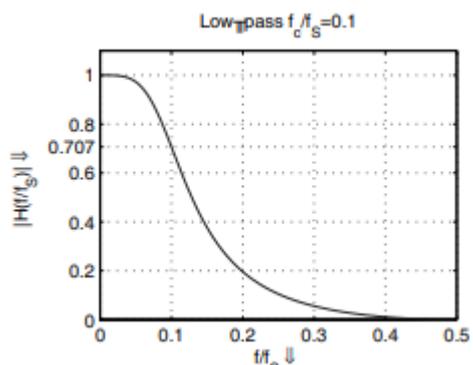
Quando se trata de problemas relacionados à qualidade do sinal do som, fala-se de atributos relacionados a distorções que podem ocorrer durante a conversão dos sinais analógicos e digitais. Para solucionar esse problema surgem os filtros digitais, que como exemplifica Smaniotto (2023, p.33) “Filtros digitais são uma classe de sistemas LTI que são especificamente projetados para modificar um sinal de entrada atenuando ou amplificando faixas de frequência”.

Para melhor conceituar os filtros digitais, tem-se que entender os tipos de filtros digitais mais utilizados, que são: Filtro passa-baixo (*low-pass filters*), filtro

passa-alta (*high-pass filters*), filtro passa-faixa (band-pass filters) e filtros rejeita-faixa (*band-stop filters*). Indo mais a fundo sobre os tipos de filtros:

- Filtro passa-baixa: Neste filtro após passar pelo processo de ADC que realiza a digitalização do sinal de áudio, ele irá permitir a passagem de frequências abaixo de uma certa frequência de parâmetro, e também irá atenuar, às frequências que estiverem acima dela. A Figura 3 possibilita ter a noção de como se comporta um sinal ao passar em um filtro passa-baixa.

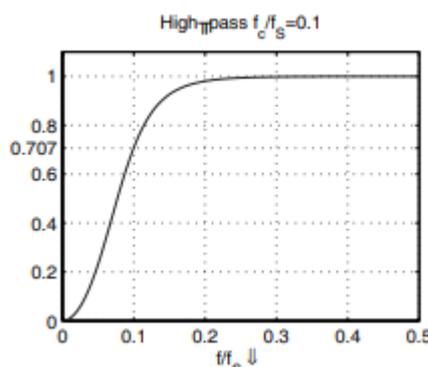
Figura 3 - Gráfico filtro passa-baixa



Fonte: adaptação de ZÖLZER (2008, p. 116).

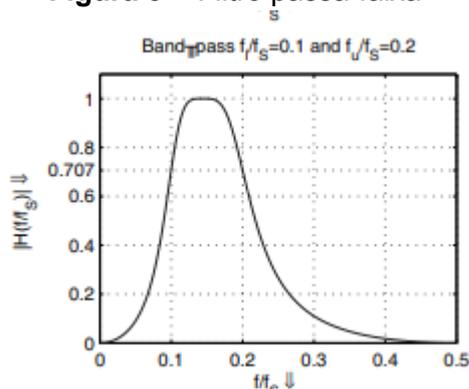
- Filtro passa-alta: Ele também tem sua função requerida após a passagem do ADC, estabelece uma frequência de corte deixando passar toda a frequência acima dela e toda frequência abaixo é atenuada. Logo a seguir a Figura 4 é possível ter a noção de como se comporta o filtro passa-alta.

Figura 4 - Gráfico filtro passa-alta



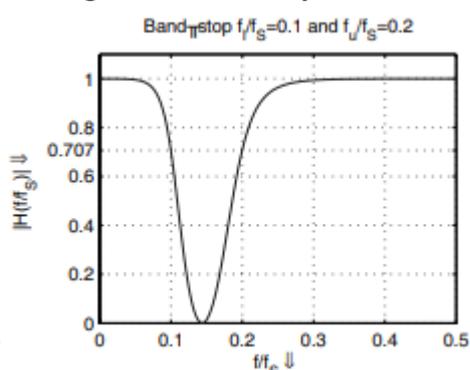
Fonte: adaptação de ZÖLZER (2008, p. 116).

- Filtro passa-faixa: Nele diferente dos tipos e filtros já apresentados, ele estabelece uma faixa de frequência, todas as frequências acima ou abaixo dessa frequência são atenuadas. Segue, na Figura 5 é ilustrado sobre o filtro passa-faixa.

Figura 5 - Filtro passa-faixa

Fonte: adaptação de ZÖLZER (2008, p. 116).

- Filtro rejeita-faixa: Esse filtro é antagônico ao explicado anteriormente, pois, em vez dele atenuar as frequências fora da faixa estabelecida, esse filtro irá atenuar as frequências dentro da faixa já estabelecida, assim deixando as frequências fora dessa faixa passarem. Na Figura 6 abaixo é ilustrado o filtro rejeita faixa.

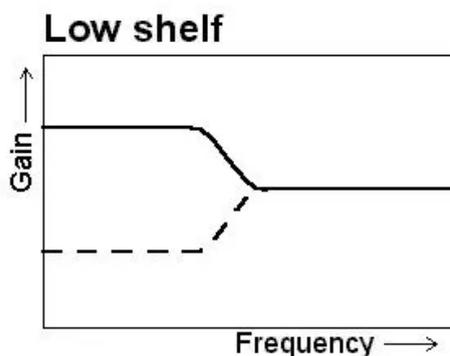
Figura 6 - Filtro rejeita-faixa

Fonte: adaptação de ZÖLZER (2008, p. 116).

Além desses filtros mostrados anteriormente, têm-se mais dois que se diferem da proposta dos filtros anteriores, são filtro *shelving* e filtro paramétrico, eles são abordados pelo autor Varela (2021,p.22) “Os filtros chamados de shelf ou shelving se assemelham aos filtros passa-baixa e passa-alta e são denominados de *low shelving* para frequências baixas e *high shelving* para frequências altas”.

Para exemplificação, o filtro *low shelving* realiza a atenuação das faixas em relação a magnitude, nesse caso podemos dizer que no *low shelving* o sinal irá para uma faixa determinada de forma atenuada, na Figura 7 se tem um exemplo do funcionamento do filtro.

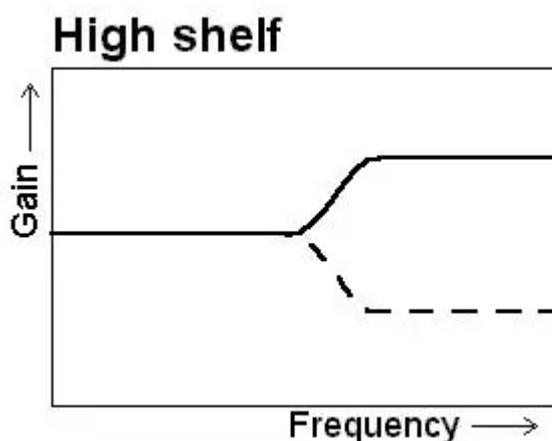
Figura 7 - Gráfico filtro low shelving



Fonte: Audioreporter (2012).

Já o *high shelving* desempenha a função contrária ao filtro *low shelf*, pois, ele realiza a aumentar a magnitude do sinal que passa pelo filtro. Para uma melhor explicação, a Figura 8 mostra como ocorre todo esse processo.

Figura 8 - Gráfico filtro high shelving



Fonte: Audioreporter (2012).

Para se ter uma melhor abordagem sobre os filtros de paramétrico, se tem a seguinte observação do autor Varela (2021, p.24) "É assim chamado pelo fato de obter sua resposta através da especificação de três parâmetros: frequência central, largura de banda (ou fator Q) e ganho (incremento ou atenuação)".

2.1.4. Equalizador

Quando se trata de equalização de sinal sonoro, pode-se citar González (2019, p.19, tradução nossa) "A equalização consiste no processo de alteração da amplitude de cada um dos frequências de um áudio com o objetivo de tornar algumas faixas de frequência mais notáveis, e desfocar outros".

Dada estas informações, pode-se notar que um equalizador sonoro realiza o processo acentuação da frequência igual como fazem os filtros digitais. Nos equalizadores também se tem uma variedade de tipo como os equalizadores,

shelving, gráfico, paramétrico, semiparamétrico, *sweep* e parágrafo (Não paramétrico e *Bandpass*). A descrição desses equalizadores pode ser encontrada no trabalho “equalizadores paramétricos de áudio digital com cinco bandas, interface gráfica touch screen e operação em tempo real”, do autor José Nicolau Varela. Neste trabalho ele abrange com maior detalhismo as especificações desses equalizadores e suas funcionalidades finais

2.2. Composição do som

2.2.1. Frequência

Quando se fala da composição do som se tem diversas métricas envolvidas, quando se quer medir a velocidade de oscilação ou frequência estamos falando da grandeza hertz que é representada pela abreviação Hz, quanto mais alta a frequência menor é a distância entre duas ondas, a representação gráfica de uma onda sonora é ilustrada na Figura 9. Trazendo para a percepção humana podemos seguir a seguinte citação:

A forma como a audição humana capta as frequências de som é conhecida como tom. Um som de alta frequência tem um tom mais alto, mais agudo do que um som de baixa frequência. A percepção dos sons de frequências mais baixas é melhor do que a das frequências mais altas. (DÖRR e AYLON, 2022, p.3)

A questão da capacidade de percepção do som pelo ser humano, refere-se ao intervalo de frequência (Hz), pois Hz muito baixo ou muito alto pode se passar despercebido pela audição humana, a faixa de frequência que é captada pelo ser humano é de 20 HZ até 20.000 Hz. As frequências abaixo de 20 Hz são chamadas de infrassom e toda frequência acima de 20.000 Hz é chamada de ultrassom.

Figura 9 - Onda sonora



Elementos das ondas.

Fonte: Brasil Escola (2024).

2.2.2. Intensidade

Quando se fala de intensidade sonora pode-se retratar a fala de Smaniotto (2023, p.23) “Já a intensidade sonora se refere à densidade superficial da potência sonora, que é medida em W/m^2 . É a intensidade sonora que é captada pelo ouvido humano, permitindo a distinção entre sons altos e sons baixos”.

A intensidade sonora é mais conhecida pela sua unidade de medida decibéis, que tem como abreviatura dB. Referindo-se ao ser humano se tem a abordagem de Smaniotto (2023, p.23) “o intervalo da audição humana é entre 0 dB e 130 dB. A partir de 160 o tímpano é perfurado”.

2.2.3. Acústica

A acústica é uma área de estudo da física, e podemos levar em consideração o seguinte conceito:

Acústica é a área da Física que trata estudo de ondas de pressão, responsável por soar e adquire importância na medida em que a percepção destes constitui, juntamente com a imagem, principal forma de relacionamento do ser humano com o meio ambiente (Merino e Moñoz-Repiso, 2013, p.19, tradução nossa).

Na acústica se tem os seguintes conceitos básicos, as fontes sonoras, meios de propagação com anteparos e receptores. A fonte sonora pode ter várias direções diferentes, como monopolos, dipolos, quadrupolos e entre outros. Os meios de propagação, está relacionado com o meio por qual esse o som irá se propagar até que chegue ao receptor, no caso esse meio de propagação pode ser, ar, água e assim por diante, a importância do meio de propagação está ligado a como o som irá chegar ao receptor, se o meio for algo que dificulte a passagem de som possa ser que o receptor não receba a mensagem. O receptor pode ser tanto seres humanos, aparelhos eletrônicos como microfones e entre outros.

2.3. Transformada de Fourier

A transformada de Fourier tem diversas aplicações nas diferentes áreas de estudo, mas tem sua essência como uma ferramenta matemática para a realização de transições entre as variáveis de tempo e frequência de sinais (Gonçalves, 2004). A transformada de Fourier abre muitas oportunidades para manipulação de variáveis de sinais, no âmbito do áudio e acústica não é diferente, pois a *Fast Fourier Transform* ou FFT é um método importante nesta ciência (Dörr e Aylon, 2022).

A FFT trás a possibilidade da análise do áudio por meio de sonograma ou espectrograma, visto que ela pode ser utilizada para realizar a conversão de um sinal em componentes espectrais de forma individualizada e fornecer informações de frequência sobre o sinal, e convertendo o sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência (Dörr e Aylon, 2022).

Dada a característica da transformada de Fourier de conseguir realizar as transições entre as variáveis de tempo e frequência dos sinais, pode-se utilizar dela para a realização da conversão dos sinais de áudio para poder haver uma

manipulação do sinal. Além disso, pela a FFT ter a possibilidade de realizar a implementação de um algoritmo da transformada de Fourier de forma mais rápida e com um menor poder computacional possibilita uma ação rápida e prática.

2.4. Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas ao tratamento de áudio

As técnicas de Inteligência Artificial (IA) tem diversas aplicações, como descrito a seguir:

A Aprendizagem de Máquina - Machine Learning - (ML) com o Aprendizado Profundo - Deep Learning (DL) para realizar o Reconhecimento de Padrões - Pattern recognition - (PR) seja detectando sons com aprendizado profundo (Detecting Sounds with Deep Learning) ou reconhecimento sons usando aprendizado de máquina (Recognizing Sounds Using Machine Learning). (Dörr e Aylon, 2022, p.1).

Em relação ao elencado em primeiro ponto, pode-se compreender que o algoritmo de aprendizagem de máquina é todo algoritmo que tem como ponto de partida da sua aprendizagem os dados que lhe são fornecidos (Smaniotto, 2023). Com esses dados fornecidos, o processo de tornar as máquinas inteligentes se dá por meio de métodos estatísticos que pegam os dados e fazem coligações entre eles (Dörr e Aylon, 2022).

Se tratando do aprendizado profundo, ele tem características distintas da aprendizagem de máquina, pois, para um algoritmo de aprendizagem de máquina se caracterizar como um algoritmo de aprendizado profundo se é necessário ter no mínimo três camadas. Esse aumento na quantidade de camadas se dá pois o aprendizado profundo tem a capacidade resolver problemas de forma mais simplificada a partir de uma grande quantidade de dados (Smaniotto, 2023).

O último tipo de aprendizado, o reconhecimento de sons usando aprendizado de máquina, tem várias utilidades como mostra Dörr e Aylon (2022), que é o utilizado para classificar gêneros musicais, realizar o agrupamento de sons por características na classificação de som ambiente, realiza a classificação de eventos específicos de áudio, detecção e interpretação da voz e outras funcionalidades possíveis.

2.5. Rede Neural Artificial

Tendo como estudo a rede neural artificial ou RNA, pode-se elencar que a RNA é considerada uma máquina desenvolvida para modelar a forma com qual o cérebro humano realiza uma determinada tarefa específica ou uma determinada função de interesse (Haykin, 2001). Essa forma de modelação, está presente em alguns atos como tomada de decisões, identificação de padrões e entre outros.

De forma mais específica, a forma com que uma RNA normalmente se é instaurada se dá pela utilização de componentes eletrônicos ou se é simulada por meio de programação em computadores digitais (Haykin, 2001), utilizando-se de

programação a RNA pode chegar a altos níveis e também proporcionar feitos incríveis em vários âmbitos da humanidade.

Partindo para o funcionamento de uma RNA, ao se deparar com um problema muito massivo e que de certa forma demanda muitas etapas, é interessante haver uma decomposição em várias tarefas mais simples, e subsequentemente ir atribuindo a RNA um subconjunto de tarefas que coincidem com as suas capacidades (Haykin, 2001). Desta forma, pode-se notar que as RNA podem ser aplicadas em vários meios, desde que sejam aplicadas de forma otimizada.

Tendo todos os seus aspectos, uma RNA tem os de maior prioridade como sua habilidade de aprender através do seu ambiente e além disso a possibilidade de melhorar seu desempenho através da aprendizagem. A aprendizagem acerca do ambiente que a RNA está inserida, se dá por meio de processos interativos de ajustes (Haykin, 2001).

2.6. Trabalhos relacionados

Tendo em vista o bem estar dos usuários, esse estudo foi motivado pela carência de estudo nesse campo, pois, a equalização do sinal proveniente de uma mídia pode ser de sumo interesse de diversos usuários para que haja uma experiência mais enriquecedora e prazerosa do por parte dos mesmos.

Para dar base a este estudo podemos citar o trabalho “Um Estudo sobre Técnicas utilizadas para o Reconhecimento de Sons com o uso de Inteligência Artificial e Python” de autoria de Jéfer Benedett e Linnyer Beatrys (Dörr e Aylon, 2022), ele tem como objetivo mostrar como a inteligência artificial pode captar o som e identificar padrões existentes nele para poder classificá-lo. Também pode-se citar a pesquisa “Super-resolução de áudio utilizando redes neurais artificiais” do autor Germano Caberlon (Smaniotto, 2023). Neste trabalho é apresentado diversas formas de manipular o áudio, visto que, o trabalho apresenta vários conceitos sobre como funcionam tecnologias como filtros digitais.

A pesquisa de Jesús Iriz (Gonzáles, 2019) intitulada “Processamento de Áudio com Técnicas de Inteligência Artificial”, aborda como funcionam os equalizadores e como podem ser utilizados no processamento do sinal de áudio. O trabalho “Hipersensibilidade auditiva e o perfil pragmático da linguagem de crianças e adolescentes com transtorno do espectro autista” da autora Erissandra Gome (GOMES, 2008), traz a perspectiva de como pessoas que detêm o transtorno do espectro autista são influenciadas pela hipersensibilidade sensorial como a hipersensibilidade auditiva mostrando que o trabalho pode auxiliar a essas pessoas.

A pesquisa “Análise do processo de compra no mercado de produtos de luxo. Um estudo de caso: Home theater de luxo.” dos autores Thelma Valéria Rocha, Dilson Gabriel Santos e Antonio Paulo Cunha Melo, mostra a perspectiva de como os consumidores chamados Audiófilos tendem a buscar por algo com uma boa qualidade sonora e reconfortante.

Todos esses trabalhos oferecem a base necessária para a concretização dos objetivos deste projeto.

3. METODOLOGIA

O capítulo 3 deste estudo apresenta de forma detalhada os processos metodológicos aplicados neste estudo.

3.1. Aplicação

3.1.1. Coleta de dados

De início na coleta de dados, foi realizada uma busca por bancos de dados que tivessem uma boa diversidade de áudios que possibilitasse a continuidade do projeto. Durante a busca, foram selecionados os bancos de dados *Freesound* e *BBC Rewind*.

Esses dois bancos de dados funcionam como uma comunidade em que qualquer usuário pode estar postando áudio, esses áudios postados tem qualidade de gravação variada desde captura via celular até estúdios de gravação, e posteriormente outros usuários possam baixá-los, visto a forma com qual nestes bancos de dados atuam possibilitou a seleção de ambos para o desenvolvimento do estudo.

Após a seleção dos bancos de dados, inicia-se a seleção dos mesmos. Esta etapa requer uma notória atenção, pois os áudios para se enquadrarem na seleção devem ter algumas características para torná-los notórios, entre as características destaca-se: ter algum pico sonoro ou algum trecho que o som inaudível e não ser muito prolongado. O motivo pelo qual o áudio não poder ser muito prolongado se adequa no caso da quantidade massiva de dados que teriam que ser analisados fazendo com que o programa passasse por uma certa lentidão. Passado nesses critérios, tem outro ponto de atenção, que além disso procurar áudios que simulassem o cenário no qual o programa seria inserido, que no caso são explosões, estrondos, tiroteios e diálogos muito baixos. Com todas essas informações preenchidas, tem-se início a próxima etapa de tratamento e pré-processamento dos dados.

3.1.2. Tratamento e pré-processamento dos dados

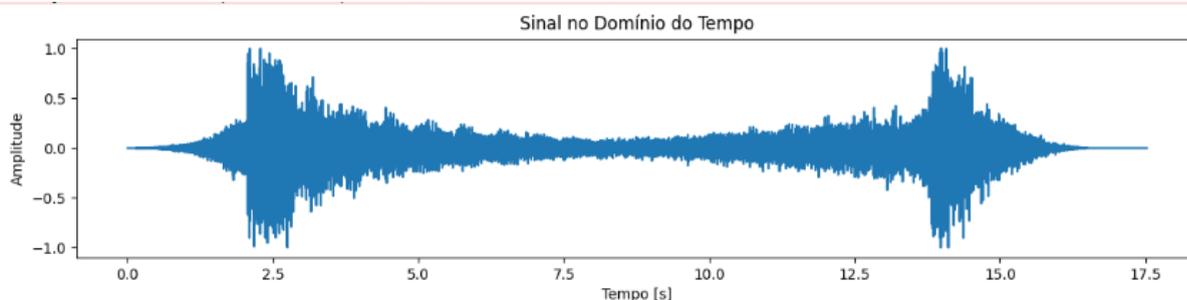
Para o tratamento de dados foi realizado uma busca por algoritmos que pudessem auxiliar na extração dos *features* importantes e também captar os picos ou trechos inaudíveis, para isso a priori foram utilizados dois algoritmos o FFT que se baseia na transformada rápida de Fourier e a detecção de picos por meio de IA. A transformada rápida de Fourier teve como papel a realização da conversão do sinal de áudio em seus componentes para assim pudesse extrair as grandezas dos dados, assim podendo realizar a interpretação delas e realizar os tratamentos no áudio.

Com as grandezas do áudio é possível realizar a plotagem do sinal em forma de um sonograma que possibilita a compreensão do comportamento da amplitude ao decorrer do tempo, pode-se notar um exemplo na Figura 10.

Além do mais, pode-se utilizar o algoritmo para o entendimento de como as grandezas se comportavam. Esse entendimento foi fundamental para se ter a compreensão de um determinado limite para que o som fosse considerado incômodo ou não para poder agir naquele determinado trecho. Para ter uma melhor

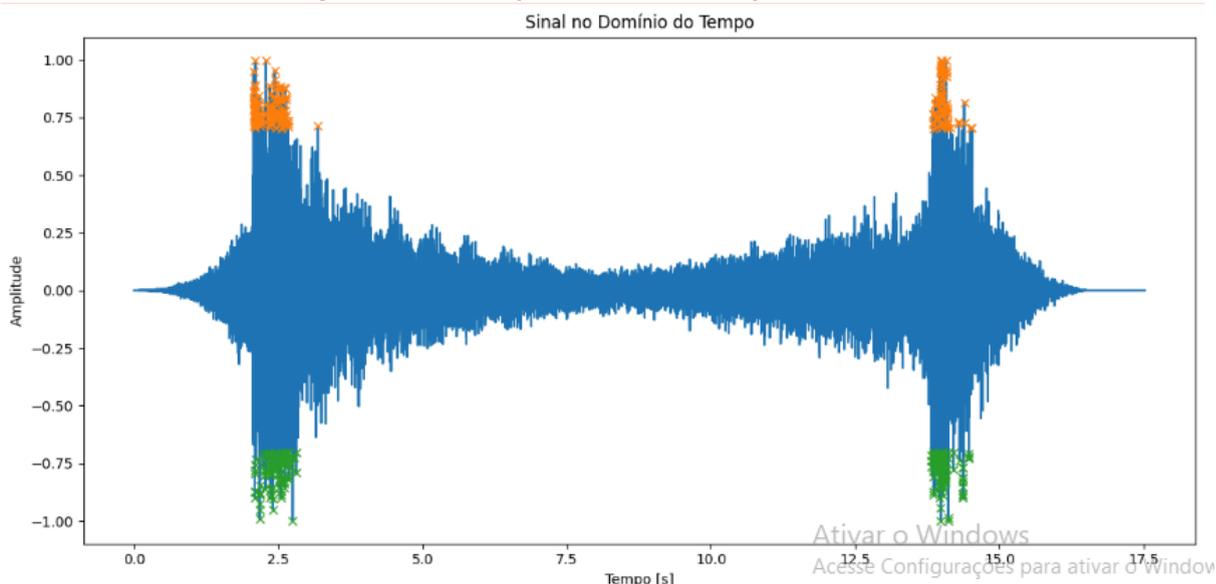
visualização, o sonograma foi utilizado para compreender a grandeza e aplicar marcações que demonstram onde foi passado do limiar de pico sonoro. Na Figura 11 é mostrado o sonograma utilizado.

Figura 10 - Sonograma exemplo



Fonte: Autor (2024).

Figura 11 - Sonograma com marcação de limiar



Fonte: Autor (2024).

3.1.3. Algoritmo de IA

Após a compreensão de onde ocorreram os picos, pode-se realizar o treinamento da IA para a detecção destes. A biblioteca utilizada foi a *torch*, uma biblioteca de aprendizado de máquina e aprendizado profundo no python, uma das vantagens dessa biblioteca é a melhor customização da rede neural utilizada no projeto, um exemplo da customização presente na biblioteca é que o usuário determina a quantidade de dados que serão analisados durante cada loop de processamento, como também a quantidade de *epoch*² ou épocas que a IA terá que passar para poder encerrar seu treinamento. Uma das desvantagens encontradas foi o tempo de processamento para o treinamento da IA. Porém tipos de otimização

² epoch do inglês época, representa a quantidade de épocas que a IA será submetida durante o treinamento

podem ser aplicadas, como as janelas deslizantes com sobreposição, que consiste em alterar o salto de análise no *looping*.

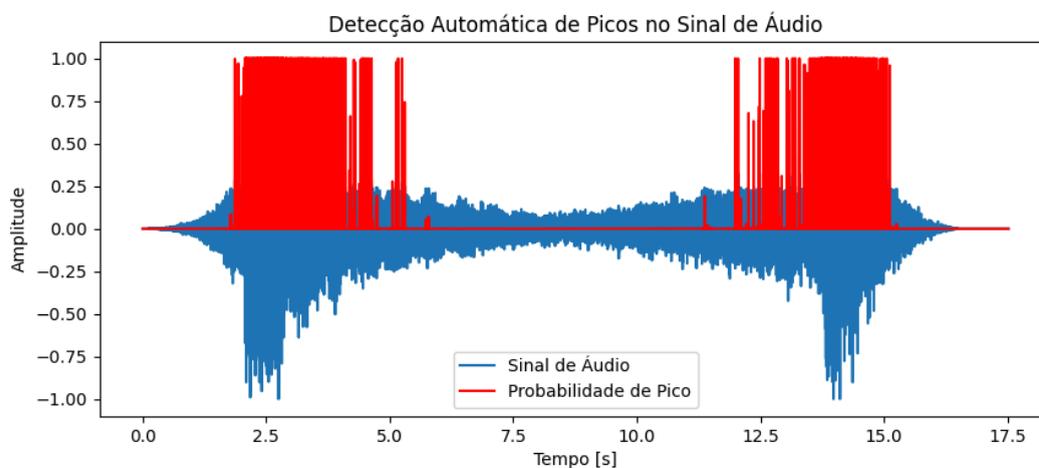
Visto os benefícios ofertados pela biblioteca, foi possível a implementação do algoritmo de classificação binária, visto que esse algoritmo possibilita o retorno de valores numéricos no intervalo entre 0 e 1, para demonstrar a probabilidade de correção de um determinado caso em uma amostra de dados.

Deste modo foi possível a implementação da IA rápida e mais precisa, pode-se visualizar a implementação da IA no apêndice 1. Com a rede neural estruturada e treinada, foi possível o envio do *array* com os dados normalizados do áudio.

Esses dados foram utilizados tanto para o treinamento da rede neural como para a obtenção de um *array* resultado de mesmo tamanho que o *array* normalizado que detém dados que mostravam a probabilidade de ocorrer um pico sonoro naquele determinado índice, sendo 1 para 100% de chance de ocorrer um pico naquele índice e 0 para 0% de chance de ocorrer um pico naquele momento.

De forma ilustrativa foi alinhado os dados sobre as probabilidades de pico sonoro obtidos pela IA em conjunto com um *array* que continha o tempo do sinal de áudio. Foi possível visualizar o sinal de áudio em conjunto da probabilidade de ocorrer um pico sonoro, na Figura 12 é possível essa visualização, ressalta-se que o sinal de áudio sem a detecção de picos foi o ilustrado anteriormente na Figura 10.

Figura 12 - Sonograma com detecção de picos



Fonte: Autor (2024).

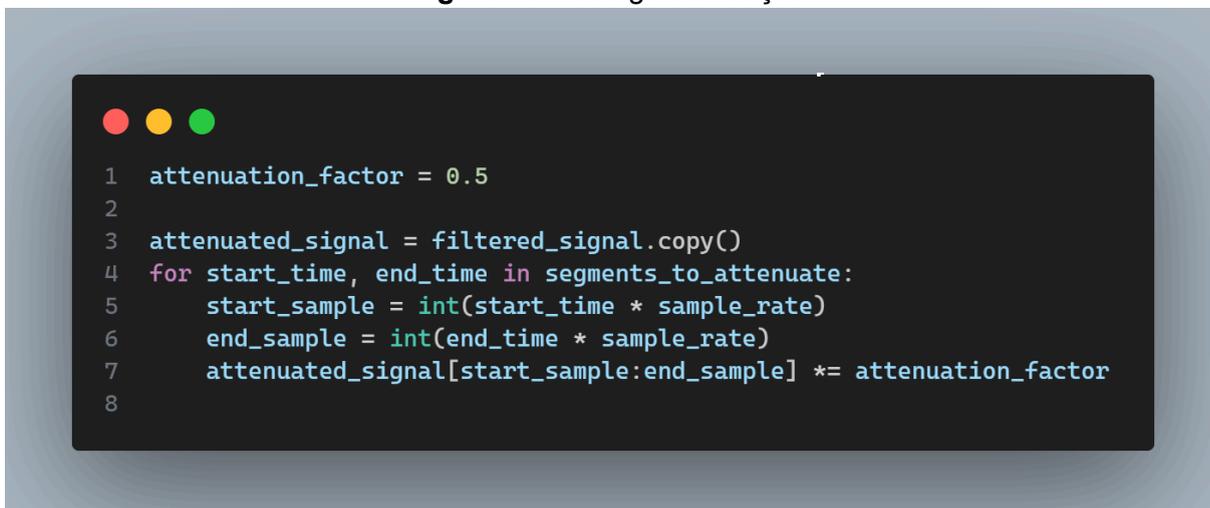
3.1.4. Finalização

Com a lista de probabilidades, resta a obtenção dos intervalos de tempo no qual ocorre cada pico sonoro, de forma exemplificada pode se utilizar a Figura 12 que tem na cor vermelha os trechos que teriam alta probabilidade de haver um pico sonoro. A extração dos intervalos de tempo, será feita pegando os índices que estão presentes os as probabilidades mais próximas de 100% alinhar com o *array* de tempos e conseguir os intervalos de tempo para realização da atenuação, para isso é utilizado o código presente no Apêndice 2.

Com os intervalos de tempo e as probabilidades de picos sonoros, é possível a realização da atenuação sonora, no qual consistia em pegar o sinal do áudio e os

intervalos de tempo no qual estava detectado os picos sonoros, e realizar a atenuação nos devidos trechos. Na Figura 13, pode-se visualizar como ocorreu a atenuação por meio do código.

Figura 13 - Código atenuação

A screenshot of a code editor window with a dark background and light-colored text. The code is written in Python and is numbered from 1 to 8. It defines an attenuation factor, copies a filtered signal, and then iterates over segments to attenuate, adjusting the signal values by the defined factor.

```
1  attenuation_factor = 0.5
2
3  attenuated_signal = filtered_signal.copy()
4  for start_time, end_time in segments_to_attenuate:
5      start_sample = int(start_time * sample_rate)
6      end_sample = int(end_time * sample_rate)
7      attenuated_signal[start_sample:end_sample] *= attenuation_factor
8
```

Fonte: Autor (2024).

3.1.5. Testes da Aplicação

Após a etapa de algoritmo iniciou se os testes, quando foi obtido dois resultados, o primeiro resultado foi utilizado o filtro passa baixa e foi feito a regulagem do som nos picos sonoros, para isso a aplicação do filtro passa baixa foi feito com uma função *python* que nela foi utilizado os módulos *butter* e *filtfilt* da biblioteca *scipy* - nativa do *python* - com esses módulos foi desenvolvido a função que simula o funcionamento do filtro passa baixa, pode-se visualizar o filtro na Figura 14.

A função foi aplicada no áudio selecionado para o teste, com a aplicação do filtro posteriormente foi feita a regulagem do som por meio de código simples mas com a necessidade de pré-configuração. Essa pré-configuração foi obtida com o cruzamento dos dados obtidos da Inteligência Artificial e um *array* de tempo, que foi obtido no início do código. Com esse cruzamento tem-se um *array* de tuplas que informa o intervalo de tempo no qual será necessário realizar a regulação sonora por haver um pico sonoro nele.

O segundo resultado foi obtido após a aplicação somente da regulagem do som, com esse resultado com uma proposta diferente é possível uma interpretação dos dois resultados e poder verificar qual ficou mais adequado para o conforto do usuário.

Figura 14 - Filtro passa-baixa

```
1 def lowpass_filter(data, cutoff_freq, sample_rate, filter_order=5):
2     nyquist_rate = 0.5 * sample_rate
3     normalized_cutoff = cutoff_freq / nyquist_rate
4     b_coeficiente, a_coeficiente = butter(filter_order, normalized_cutoff, btype='low', analog=False)
5     filtered_signal = filtfilt(b_coeficiente, a_coeficiente, data)
6     return filtered_signal
```

Fonte: Autor (2024).

3.2. Teste de experiência do usuário

Para a realização do teste foi utilizado a ferramenta do Google Forms. Esta ferramenta possibilita a implementação de questionários diversos e ao decorrer de que as respostas são recebidas é gerado um relatório que consolida os dados, o relatório pode ser filtrado por pergunta e de forma individual para cada formulário respondido. Visto esta variedade de escolha que o Google Forms disponibiliza, ele foi escolhido para a realização dos testes de experiência do usuário.

Para a produção do teste de experiência do usuário, houve a necessidade de no início do formulário do teste ser adicionado um breve resumo de sobre o que se trata o estudo. Esse breve resumo contém informações cruciais de como o estudo foi realizado, como o algoritmo funciona e também de como foram obtidos os resultados da aplicação.

Após essa explicação, vieram as informações de como os usuários iriam responder ao formulário, nestas informações estava contido que seriam três áudios submetidos a teste - os áudios estão presentes no Apêndice 4. O áudio 01 está o som puro da mesma forma que foi retirado do banco de dados, no áudio 02 contém o áudio após a aplicação do filtro passa baixa e a detecção de picos por meio da IA que foi feita a regulagem sonora e o áudio 03 é o áudio no qual somente foi realizado a detecção de picos por meio da IA e a regulagem sonora nos trechos filtrados.

As perguntas realizadas tinham como objetivo extrair somente as informações em questão de qual a experiência do usuário ao escutar cada áudio e qual sua percepção de melhora em relação a eles. Para ter uma melhor visualização das perguntas, elas foram separadas por áudio, no Apêndice 3 pode-se visualizar as duas primeiras perguntas a serem respondidas após escutar o áudio 01, de início é perguntado ao usuário o que ele achou do áudio 01 e depois pede para ele descrever como foi a experiência de escutar o áudio 01.

Após responder as perguntas relacionadas ao áudio 01, se é instruído ao usuário escutar o áudio 02 e responder as perguntas referentes a ela, para uma melhor exemplificação o apêndice 4 mostra as perguntas relacionadas ao áudio 02, nesse trecho do formulário além de perguntar ao usuário como ele se sente em relação ao áudio e também descrevê-lo também é perguntado em relação ao áudio 01 se ele considera o áudio 02 mais prazeroso de ser ouvido.

No último trecho do formulário, se respondido após escutar o áudio 03 que tinha presença somente do balanceamento sonoro feito pela detecção de picos por meio da IA e responder as últimas questões tanto referente ao áudio 03 como também uma consolidação sobre os áudios escutados, no apêndice 3 se tem a

presença das 4 últimas perguntas do formulário. Nas últimas perguntas, além das perguntas sobre a experiência do usuário ao escutar o áudio 03, descrição sobre a experiência do áudio 03 e comparação em relação ao áudio 01, se é perguntado em relação aos três áudios escutados qual ele achou uma experiência mais agradável.

Para a realização dos teste de experiência do usuário 6 voluntários - por questões de tempo e logística não foi possível haver mais voluntários - foram exposto aos áudios do teste na condição de simulação, no qual utilizava-se um fone de ouvido e de preferência áudio estava em volume máximo, com o intuito de simular um caso no qual o usuário teria aumentado o volume por dificuldade de entendimento da mídia que estava usufruindo. O teste foi realizado tanto de forma presencial como também por meio de links que contém os áudios e o formulário.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante todo o desenvolvimento do estudo, como também os resultados obtidos sobre os testes de experiência do usuário que foram aplicados.

4.1. Resultado testes da aplicação

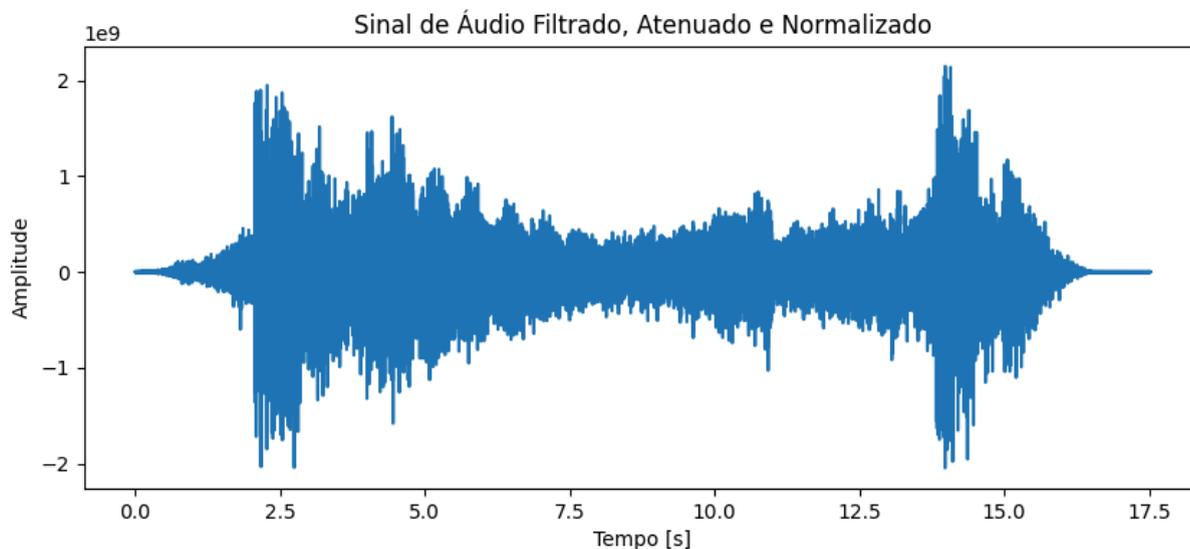
Como citado anteriormente, este estudo obteve dois resultados. Ambos utilizaram o mesmo áudio para fins de comparação, visto que a possibilidade de diferentes utilização dos dados trouxe resultados satisfatórios, que estivessem alinhados com os objetivos do estudo e que não fugissem ao escopo do trabalho.

No primeiro resultado foi realizado a aplicação de um filtro passa baixa que tinha como funcionalidade filtrar os sinais que passavam após uma determinada faixa pré-estabelecida, e após o áudio passar por essa filtragem os dados são direcionados para a IA, ela aprende sobre o sinal e retornar as probabilidades de ocorrência de um pico sonoro para cada índice da lista dos dados, com essa lista foi possível correlacionar os dados que detinham o tempo do áudio e disponibilizar intervalos de tempo de quando necessitaria de intervenção. Com os intervalos de tempo disponíveis foi possível a realização da atenuação do áudio nos locais selecionados pela IA.

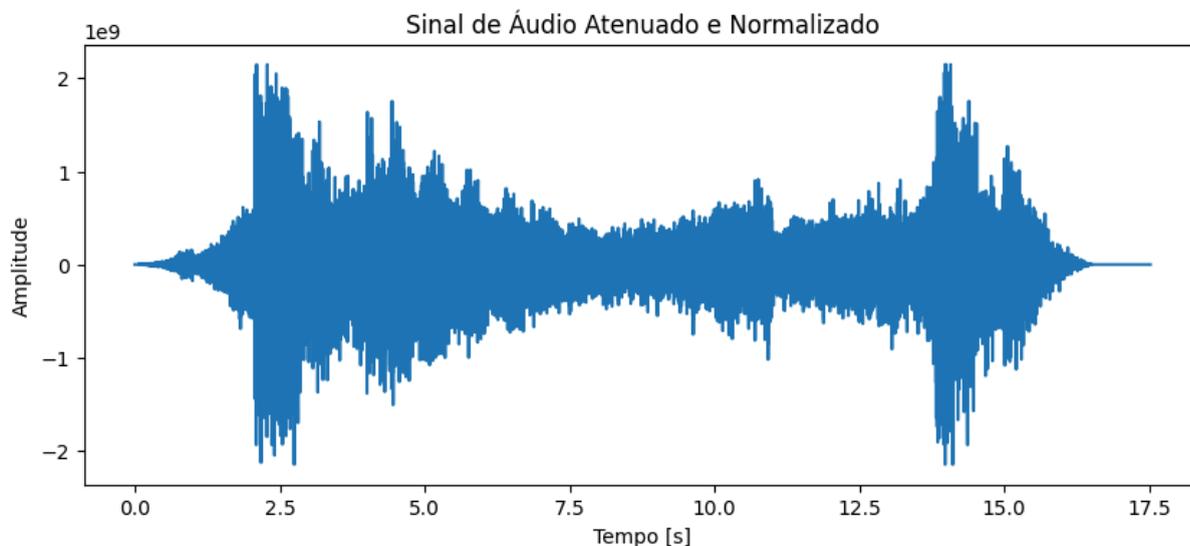
Após passar o áudio por todos os tratamentos descritos anteriormente, pode-se dizer que a experiência do resultado um foi um áudio sem muitos ruídos por causa da aplicação do filtro que fez um abafamento no áudio, e também uma atenuação trouxe um maior conforto para o usuário.

Já no segundo resultado, não houve a aplicação do filtro passa baixa para ter a compreensão de como somente a atenuação seria responsável pela impactação no áudio, pois com a aplicação do filtro passa baixa se tem a impressão de uma perda na mensagem que aquele determinado som queria realmente passar, a aplicação somente da atenuação trouxe uma experiência também reconfortante mas não deixou com que perdesse a essência que o áudio queria passar.

Partindo para uma análise mais visual por meio dos sonogramas, tem-se a Figura 15 e Figura 16, que respondem respectivamente ao resultado 1 e 2. No sonograma da Figura 15 tem-se que a amplitude no intervalo de aproximadamente 2 segundos até aproximadamente 3 é notório que a amplitude não chega próximo ao limiar de 2^9 , mas no intervalo de aproximadamente 14 segundos até próximo de 15 segundos se nota que a amplitude atinge o valor de 2^9 , demonstrando que a aplicação do filtro passa baixa traz uma diminuição na amplitude do áudio em determinados trechos. Na Figura 16, tem-se que nos mesmo intervalos de tempo demonstrados na Figura 15 temos que eles atingem o limiar de 2^9 demonstrando que não há suavização na amplitude do áudio.

Figura 15 - Sonograma resultado 1

Fonte: Autor (2024).

Figura 16 - Sonograma resultado 2

Fonte: Autor (2024).

Com essas análises, pode-se concluir que mesmo com a aplicação do filtro passa baixa ou não, a possibilidade de como o áudio será externado fica a critério do usuário ou produtora tendo em vista que ambos os resultados trazem uma melhor experiência para o usuário no geral.

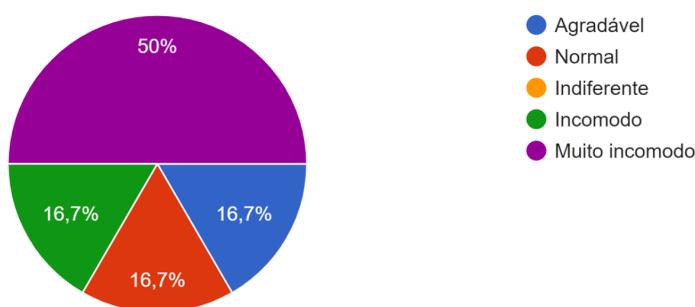
4.2. Resultado teste de experiência do usuário

Para uma melhor exemplificação e interpretação de cada resultado será abordado na ordem que foi exposto na metodologia e debatido sobre os resultados obtidos de forma geral.

Referente à primeira questão que, que é de múltipla escolha sobre a experiência do usuário ao escutar o áudio 01 que lhes foi apresentado, que contém o seguinte enunciado “ Sobre a experiência de escutar o áudio 01” e tinha as opções agradável, normal, indiferente, incômodo e muito incômodo. As questões aplicadas aos voluntários encontram-se no Apêndice 4 deste estudo. Para uma melhor compreensão, a Figura 17 mostra os resultados obtidos em formato de gráfico de pizza.

Figura 17 - Gráfico referente à primeira pergunta

Sobre a experiencia de escutar o áudio 01
6 respostas



Fonte: Autor (2024).

Observando o Gráfico, pode-se notar que ao escutar o áudio 01, 50% dos usuários submetidos ao teste de experiência do usuário consideraram o áudio muito incômodo, mostrando que o áudio por ter picos sonoros visíveis para a maioria dos usuário traz uma experiência desprazerosa ao escutá-lo. Em contrapartida, apenas 16,7% dos usuários consideraram o áudio agradável ao escutá-lo, 16,7% o consideram normal e os outros 16,7% consideraram incômodo.

Na pergunta seguinte, estava relacionada a descrição sobre a experiência ao escutar o áudio 01, que tinha o seguinte enunciado “Descreva a experiência de escutar o áudio 01” . Para um melhor entendimento no Quadro 1 estão todas as respostas obtidas referente à segunda pergunta.

Quadro 1 - Síntese das respostas da segunda pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“Consegui ouvir com qualidade.”
Q2	“O áudio apresenta picos de altura muito perceptíveis, no início e no meio”
Q3	“Muito alto, bastante ruído e incômodo”
Q4	“Normal,sem nada desagradável”
Q5	“Terrível e perturbador, mas me sentir no início de um filme na sala de cinema”

Q6	“O áudio 01 apresenta características mais estridentes que oferecem uma experiência com muitos detalhes e informações concentradas, que podem gerar dificuldade de compreensão para determinados tipos de conteúdos.”
-----------	---

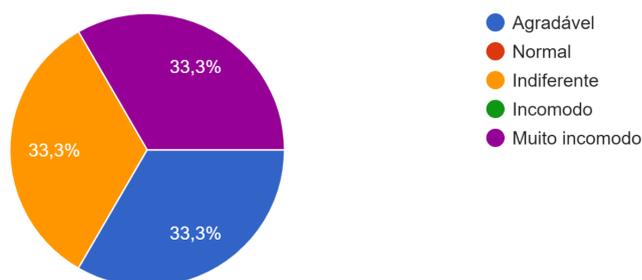
Fonte: Autor (2024).

De forma geral, pode-se notar que quatro dos seis usuários notaram algum pico de volume ou se sentiram incomodados com a experiência de escutar o áudio 01. Escolhendo um comentário para analisar, tem-se o comentário do usuário Q5 que detalha que sentiu como se o áudio fosse “terrível e perturbador”, mostrando que um áudio sem um determinado tratamento pode trazer experiências desprazerosas para o usuários em alguns casos.

Partindo para as perguntas relacionadas ao áudio 02, tem-se uma pergunta semelhante à primeira feita sobre o áudio 01, ela é uma pergunta de múltipla escolha perguntado sobre a experiência ao escutar o áudio 02. De forma gráfica temos a Figura 18 que mostra as respostas dos usuários e suas escolhas.

Figura 18 - Gráfico referente à terceira pergunta

Sobre a experiencia de escutar o áudio 02
6 respostas



Fonte: Autor (2024).

Nela é possível notar que houve uma certa harmonia entre as respostas, visto que 33,3% dos usuários disseram que o áudio 02 estava agradável, 33,3% dos usuários disseram que se sentiam indiferentes em relação ao áudio 02 e 33,3% dos usuários afirmaram que se sentiram muito incomodados ao escutar o áudio 02. Assim mostrando que há uma harmonia, pois não se tem uma disparidade quando o áudio tem o filtro passa-baixa e a detecção de picos sonoros por meio da IA aplicados.

Na pergunta seguinte também se é notório a semelhança com a pergunta do áudio 01, na qual se pedia para descrever a experiência ao escutar o áudio 02. No Quadro 2 é possível notar a síntese sobre a descrição da experiência dos usuários ao escutar o áudio 02.

Quadro 2 - Síntese das respostas da quarta pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“Perdeu qualidade sonora e não consegui ouvir muito bem.”
Q2	“O áudio é mais equilibrado com relação ao volume”
Q3	“Bom, som muito abafado”
Q4	“Meio chato de ouvir no final”
Q5	“Diminuiu o volume, não perturba muito”
Q6	“Existiu uma alteração excessiva nas frequências sonoras, descaracterizando o áudio que acabou sendo poluído por soar abafado e grave.”

Fonte: Autor (2024).

No Quadro 2 as informações obtidas no gráfico da Figura 19 se mantiveram, mostrando que se tem uma boa divisão entre os usuários sobre o áudio 02. Na resposta do usuário Q2 mostra-se que ele aprovou as alterações mas só referentes ao volume do áudio, mas já o usuário Q6 pontua que houve uma alteração excessiva que descaracterize o áudio tornando ele poluído, essa descaracterização pode-se deduzir que seja pela utilização do filtro passa-baixa visto que ele que realizou uma alteração no sinal do áudio.

A questão subsequente não estava presente no grupo de questões relacionadas ao áudio 01, nessa questão é perguntado a opinião do usuários sobre sua preferência entre o áudio 01 e áudio 02, ela detém o seguinte enunciado “ Você considera o áudio 02 mais prazeroso que o áudio 01?”, no quadro 3 se é possível observar a síntese sobre as respostas dos usuários.

Quadro 3 - Síntese das respostas da quinta pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“Não, o áudio 01 está muito melhor.”
Q2	“Sim, ele é mais equilibrado e mais agradável ao ouvir”
Q3	“Sim”
Q4	“Não”
Q5	“Dois”
Q6	“Não considero, pois o áudio 01 é recebido de uma forma mais parecida com o convencional ou seja soa de uma forma mais natural, já o áudio 02

	se apresenta totalmente em antítese e aparenta ser tratado de uma forma mais intensa que acaba demonstrando uma sonoridade distorcida.”
--	---

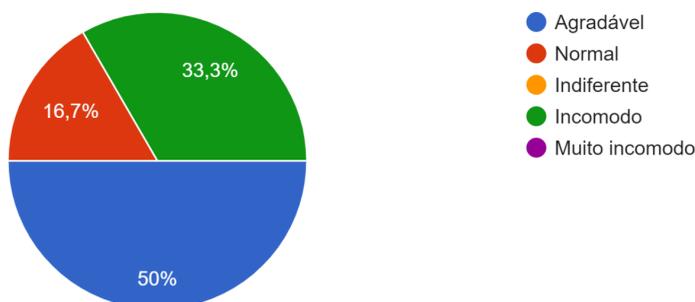
Fonte: Autor (2024).

Levando em consideração as respostas dos usuários, pode-se ver uma divisão entre eles, onde três usuários consideraram o áudio 01 mais prazeroso e 3 usuários consideraram o áudio 02 como mais prazeroso. Entre os motivos de considerar o áudio 01 mais prazeroso tem o usuário Q6 que afirma que o áudio 01 é mais prazeroso justamente por ele ter suas características principais que lembrar mais do habitual. Já no segmento que preferiu o áudio 02 demonstrar maior considerar ele mais prazeroso pelo motivo dele está mais agradável e também ser mais equilibrado para a audição.

Saindo das perguntas relacionadas ao áudio 02 e indo para o áudio 03, tem-se a pergunta de múltipla escolha relacionada a experiência de escutar o áudio 03, na Figura 19 pode-se observar as respostas dos usuários em formato de gráfico de pizza.

Figura 19 - Gráfico referente à sexta pergunta

Sobre a experiência de escutar o áudio 03
6 respostas



Fonte: Autor (2024).

Com as respostas obtidas, é possível observar que em relação ao áudio 03 se tem um maior favoritismo em comparação ao áudio 01 e o áudio 02, visto que 50% dos usuários afirmaram que o áudio é agradável e 16,7% dos usuários afirmaram que ele é normal, por enquanto que somente 33,3% dos usuários acharam o áudio incômodo. Com essas informações é possível notar que o áudio 03 teve um maior engajamento entre a maioria dos usuários.

Seguindo a mesma linha de raciocínio das demais perguntas relacionadas aos áudios, a pergunta seguinte pedia para os usuários descreverem a experiência deles ao escutar o áudio 03. No Quadro 4 se tem o resumo das respostas obtidas pelos usuários.

Quadro 4 - Síntese das respostas da sétima pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“Melhor qualidade que o áudio 02 e também mais suave que o áudio 01..”
Q2	“Apesar de ser mais agradável que o áudio 1, ele ainda apresenta mudanças de volume perceptíveis que causam incômodo”
Q3	“Muito agradável”
Q4	“Bom, nada muito ruim”
Q5	“Não gostei muito, muito grave”
Q6	“O áudio 03 tem como principal característica o equilíbrio e balanceamento, as informações do áudio soam com clareza talvez por uma preocupação maior com a altura das frequências, neste áudio a experiência é rica em constância e não apresenta alterações discrepantes em seu níveis e volumes de uma forma geral.”

Fonte: Autor (2024).

Nas respostas obtidas, pode-se notar o reflexo do gráfico da sexta questão, nas respostas discursivas mostrar um maior engajamento pelo áudio 03. Como exemplo de resposta favorável tem-se o comentário do Q6 que é notória a preocupação com as principais características de equilíbrio e balanceamento sonoro sem perder as informações principais do áudio, também pontua que as mudanças drásticas no volume do áudio. Em contrapartida se tem o usuário Q2 que mesmo tendo gostado do áudio pontua que seria interessante uma mudança de volume de forma mais sutil para evitar causar incômodos.

Na questão subsequente semelhante à pergunta presente no grupo de perguntas do áudio 02, essa pergunta refere-se à comparação entre o áudio 01 e áudio 03, qual é o mais prazeroso. De forma resumida o Quadro 5 traz as respostas dos usuários.

Quadro 5 - Síntese das respostas da oitava pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“Sim”
Q2	“Um pouco mais suave nas horas de pico sonoro.”
Q3	“Sim, apesar de ser mais notável as mudanças nos picos de volume, ele se torna mais prazeroso pois a mudança de volume é mais suave”
Q4	“sim”
Q5	“sim”
Q6	“Considero, o áudio 03 parece ser o mais pertinente com o conforto tendo

	em vista o funcionamento do sistema auditivo humano.”
--	---

Fonte: Autor (2024).

Dentre as respostas obtidas com a oitava pergunta, é possível observar que diferente da mesma resposta referente ao áudio 01 e o áudio 02, nesse caso temos um favoritismo pelo o áudio 03, mas alguns usuários pontuam algumas possíveis melhorias, como o usuário Q2 que fala que mesmo que o áudio 03 seja mais prazeroso que o áudio 01 é notória a mudança de volume nos picos sonoros, mas eles são mais prazeroso.

Para o encerramento do teste de experiência do usuário, a última pergunta pedia para os usuários informar entre os áudio 01, áudio 02 e áudio 03, qual deles eles tiveram uma experiência mais agradável e o porquê, a pergunta tem o seguinte enunciado “Entre o áudio 01, 02 e 03, qual você teve uma experiência mais agradável e por que?”. No Quadro 6 sente-se a síntese das respostas obtidas dos usuários.

Quadro 6 - Síntese das respostas da nona pergunta

Usuários	Respostas
Q1	“03, pois ele tem menos picos sonoros, tornando o som melhor e mais suave.”
Q2	“O áudio 2 é melhor, pois a mudança de volume é mais suave o que torna a experiência mais agradável”
Q3	“03, som mais agradável e sem incomodo para os ouvidos.”
Q4	“03”
Q5	“O segundo, porque é mais baixo.”
Q6	“O áudio 03 oferece uma experiência mais agradável e mais próxima do ideal.”

Fonte: Autor (2024).

Visto as respostas dos usuários sobre os áudios, pode-se concluir que 4 dos 6 usuários tiveram uma experiência mais agradável no áudio 03, dentre os motivos estão que o som é mais agradável e incomoda menos os usuários. Mas já 2 dos 6 usuários entrevistados preferiram o áudio 02, pois, segundo eles além de ser baixo, ele tem a mudança de volume mais suave, essa mudança de volume mais suave pode-se dá pelo fato do filtro passa-baixa disfarçar a mudança do volume.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise dos resultados obtidos nos testes, pode-se notar que está dentro do escopo estabelecido nos objetivos gerais e específicos do presente estudo. Com isso é possível constatar a realização da equalização sonora com Inteligência Artificial. Esse estudo é de grande importância para diversos âmbitos e demonstra que o cuidado com alguns detalhes pode acrescentar uma melhor experiência para o usuário.

Os dois resultados obtidos no trabalho mesmo de forma gráfica com as informações trazidas pelo dados não tenha uma discrepância tão vasta, mostra informações sólidas, mas na questão da experiência como o usuário a escolha do resultado irá demonstrar mais que questão de opção do usuário em si, pois trouxe duas experiências totalmente diferentes ao escutar.

Um dos aspectos que pode apresentar evolução nos futuros trabalhos é a questão da precisão que a IA irá ter sobre os dados do áudio, pois, durante os testes foi obtido uma precisão satisfatória mas infelizmente não a ideal, esse aspecto necessita de aprimoramento, poderia ser alcançado com a substituição do tipo de IA a ser aplicada ou até mesmo adaptação de alguns parâmetros para aumentar a precisão.

Neste estudo teve a necessidade de uma otimização na questão do tempo que a IA demorava para realizar seu treinamento, pois alguns testes duraram em torno de 25 horas, para que a otimização fosse feita não poderia perder a exatidão obtida nos modelos testados, para isso foi utilizado à otimização e foi reduzido o tempo para 12 minutos. No trabalho foi centrado para a detecção e tratamentos de picos sonoros, em futuros trabalhos é possível trabalhar em cima dos trechos inaudíveis e realizar um tratamento nesses trechos.

Para futuros trabalhos também pode realizar a aplicação de diferentes filtros para dar mais possibilidades para o usuário decidir qual resultado mais o agrada, assim tornando o estudo mais completo e incrementando. Além disso, pode-se refazer a aplicação de testes com os usuários a fim de solucionar os problemas elencados no teste aplicado e procurar possíveis melhorias para o estudo.

6. REFERÊNCIAS

ANTÔNIO, José Carlos; 17 out. 2017. Disponível em:
<<https://www.institutoclaro.org.br/educacao/para-ensinar/planos-de-aula/ondas-sonoras/>>. Acesso em: 14 out. 2024.

CORTES, Rafa; 2024. Disponível em:
<<https://cazamoderna.com.br/sinal-analogico-vs-digital/>>. Acesso em: 14 out. 2024.

DÖRR, Jéfer Benedett; AYLON, Linnyer Beatrys Ruiz Um estudo sobre técnicas utilizadas para o reconhecimento de sons com o uso de inteligência artificial e python. In: Congresso Latino-americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (LATINOWARE), 19., 2022, Evento Híbrido. **Anais [...]**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2022. p. 103-112.

FERREIRA, Daniela. Inteligência Artificial: o agente multimídia. In: **Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação**, 43., 2020, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: Pontifícia Universidade Católica Minas, 2020.

GOMES, Erissandra. **Hipersensibilidade auditiva e o perfil pragmático da linguagem de crianças e adolescentes com transtorno do espectro autista**. 2008. Tese (Programa de pós-graduação em ciências médicas: pediatria) - Faculdade de medicina, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GONÇALVES, Louis. **Um estudo sobre a Transformada Rápida de Fourier e seu uso em processamento de imagens**. 2004. Dissertação (Programa de pós-graduação em matemática aplicada) - Instituto de matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GONZÁLEZ, Jesús Iriz. **Procesamiento de Audio Con Técnicas de Inteligencia Artificial**. 2019. Dissertação (Licenciatura em Engenharia Informática)- Universidade Calos 3 de Madrid, Getafe, 2019.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e práticas**. 2. ed. Ontário: Artmed editora S. A, 2007. 893 p.

MELO, Pâmella Raphaella. Disponível em:
<<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/natureza-uma-onda.htm>>. Acesso em: 15 Set. 2024.

MENEZES, Tito; 18 jan. 2012. Disponível em:
<<https://www.audioreporter.com.br/dicas/tudo-sobre-equalizacao-1-tipos-e-filtros/>>. Acesso em: 17 out. 2024.

MERINO, Jesús Mariano; MUÑOZ-REPISO, Loida. La percepción acústica: Física de la audioción. **Revista de ciências**, n. 2, p. 19-26, 2013.

ROCHA, Thelma Valéria; SANTOS, Dilson Gabriel; MELO, Antonio Paulo Cunha. Análise do processo de compra no mercado de produtos de luxo. Um estudo de caso: Home theater de luxo. **Marketing e Comunicação**, São Paulo, 2005.

SMANIOTTO, Germano Caberlon. **Super-Resolução de áudio utilizando redes neurais artificiais**. 2023. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

VARELA, José Nicolau. **Equalizador paramétrico de áudio digital com cinco bandas, interface gráfica touch screen e operação em tempo real**. 2021. Dissertação (Departamento Acadêmico de Eletrônica)-Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ZÖLZER, Undo. **Digital Audio Signal Processing**. 2. ed. Hamburgo: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 334 p.

APÊNDICE 1 – Código IA

```

1 threshold = np.mean(audio_signal) + 2 * np.std(audio_signal)
2 labels = (audio_signal > threshold).astype(int)
3 max_val = np.max(np.abs(audio_signal))
4 normalized_signal = audio_signal / max_val
5
6 windows_size = 100
7 overlap = 50
8 x = []
9 y = []
10
11 for i in range(0, len(normalized_signal) - windows_size + 1, windows_size - overlap):
12     x.append(normalized_signal[i:i + windows_size])
13     y.append(labels[i + windows_size//2])
14
15 X = np.array(x)
16 Y = np.array(y)
17
18 X_tensor = torch.tensor(X, dtype=torch.FloatTensor)
19 Y_tensor = torch.tensor(Y, dtype=torch.FloatTensor)
20
21 dataset = TensorDataset(X_tensor, Y_tensor)
22 dataloader = DataLoader(dataset, batch_size=32, shuffle=True)
23
24 class PeakDetector(nn.Module):
25     def __init__(self):
26         super(PeakDetector, self).__init__()
27         self.fc1 = nn.Linear(windows_size, 100) # teste com 5 fc e com 200 de de inicio deu errado
28         self.fc2 = nn.Linear(100, 50)
29         self.fc3 = nn.Linear(50, 10)
30         self.fc4 = nn.Linear(10, 1)
31         self.sigmoid = nn.Sigmoid()
32
33     def forward(self, x):
34         x = torch.relu(self.fc1(x))
35         x = torch.relu(self.fc2(x))
36         x = torch.relu(self.fc3(x))
37         x = self.sigmoid(self.fc4(x))
38         return x
39
40 model = PeakDetector()
41 criterion = nn.BCELoss()
42 optimizer = optim.Adam(model.parameters(), lr=0.001) # teste com 0,001 deu errado
43
44 num_epochs = 400
45 for epoch in range(num_epochs):
46     for inputs, targets in dataloader:
47         outputs = model(inputs)
48         loss = criterion(outputs.squeeze(), targets)
49
50         optimizer.zero_grad()
51         loss.backward()
52         optimizer.step()
53     print(f'Epoch {epoch+1}/{num_epochs}, loss: {loss.item()}')
54
55 with torch.no_grad():
56     test_signal = normalized_signal[:windows_size]
57     teste_tensor = torch.tensor(test_signal, dtype=torch.FloatTensor).unsqueeze(0)
58     predicted_peak = model(teste_tensor).item()
59
60     print(f'Probabilidade do pico na janela de teste: {predicted_peak}')

```

APÊNDICE 2 – Código filtragem de intervalo de tempo

```

len_to_one_second = 0
for i in range(len(time_axis)):
    if time_axis[i] == 1:
        len_to_one_second = i
        break

controle_tempo = 0
tempos = []
for i in range(len(detected_peaks)):
    if detected_peaks[i] >= 0.8 and detected_peaks[i+1] >= 0.8:
        controle_tempo += 1
        if controle_tempo >= len_to_one_second:
            tempos.append(int(time_axis[i]))
    elif detected_peaks[i] >= 0.8 and detected_peaks[i+1] < 0.8:
        controle_tempo = 0

```

```

tempos_unicos = []

for i in range(len(tempos)):
    if tempos[i] not in tempos_unicos:
        tempos_unicos.append(tempos[i])

sequencias = [tempos_unicos[0]]
juncao_tempos = []
segments_to_attenuate = []
for i in range(1, len(tempos_unicos)):
    if tempos_unicos[i] - 1 == tempos_unicos[i-1]:
        sequencias.append(tempos_unicos[i])
    else:
        juncao_tempos.append(sequencias)
        sequencias = [tempos_unicos[i]]
juncao_tempos.append(sequencias)
for i in range(len(juncao_tempos)):
    segments_to_attenuate.append((min(juncao_tempos[i]), max(juncao_tempos[i])))

```

APÊNDICE 3 - Link para os áudios

<https://github.com/welly555/TCC/tree/main/Audios>

APÊNDICE 4 - Formulário para o teste de experiência do usuário

Sobre a experiência de escutar o áudio 01 *

Agradável
 Normal
 Indiferente
 Incomodo
 Muito incomodo

Descreva a experiencia de escutar o áudio 01 *

Texto de resposta longa

Sobre a experiência de escutar o áudio 02 *

Agradável

Normal

Indiferente

Incomodo

Muito incomodo

Descreva a experiência de escutar o áudio 02 *

Texto de resposta longa

Você considera o áudio 02 mais prazeroso que o áudio 01? *

Texto de resposta longa

Sobre a experiência de escutar o áudio 03 *

Agradável

Normal

Indiferente

Incomodo

Muito incomodo

Descreva a experiência de escutar o áudio 03 *

Sua resposta

Você considera o áudio 03 mais prazeroso que o áudio 01? *

Sua resposta

Entre o áudio 01, 02 e 03, qual você teve uma experiência mais agradável e por que? *

Sua resposta