

**Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Espírito Santo**

Alexandre Jastrow da Cruz

Maikysuel Simões Braga

**Relatório do Trabalho 1 de  
Fundamentos de Sistemas Multimídia**

**Áudio**

Serra, Espírito Santo  
2020

Alexandre Jastrow da Cruz

Maikysuel Simões Braga

## **Relatório do Trabalho 1 de Fundamentos de Sistemas Multimídia – Áudio**

Trabalho sobre áudio apresentado ao curso de Sistemas de Informação para avaliação parcial da disciplina de Fundamentos de Sistemas Multimídia.

Serra, 22 de julho de 2020

Professor: *Flávio Giraldele Bianca*

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>4</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Atividade 1: Entropia na prática</b>	<b>4</b>
3.1.1. Código em C	5
3.1.2. Compressão dos arquivos	6
3.1.3. Entropia dos arquivos	7
<b>3.2. Atividade 2: Áudio Binaural</b>	<b>8</b>
3.2.1. Experiência Alexandre	8
3.2.2. Experiência Maikysuel	8
<b>3.3. Atividade 3: Avaliando compressão de áudio sem perdas</b>	<b>9</b>
3.3.1. 3A – Análise, escolha e compressão das músicas	9
3.3.2. 3B – Teste de descompressão	11
<b>3.4. Atividade 4: Qualidade de Áudio Lossy</b>	<b>12</b>
3.4.1. 4A – Análise pontual das músicas	12
3.4.2. 4B – Teste de transparência	16
3.4.3. 4C – Performance dos codecs	19
3.4.4. 4D – Áudio contendo apenas voz	21
3.4.5. 4E – Teste de decodificação	22
<b>3.5. Atividade 5: <i>Transcoding</i> em Áudio</b>	<b>22</b>
<b>3.6. Atividade 6: Descobrindo se o arquivo de áudio é um <i>Lossless</i> de verdade</b>	<b>24</b>
<b>4. CONCLUSÃO</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>26</b>

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Desempenho de compressão dos arquivos binários	6
Tabela 2 - Valor da entropia presente nos arquivos	7
Tabela 3 - Desempenho de compressão lossless dos arquivos áudio	10
Tabela 4 - Desempenho de compressão lossless dos arquivos áudio	11
Tabela 5 – Valores de bitarte da compressão com perdas	12
Tabela 6 - Desempenho de compressão lossy dos arquivos áudio	22
Tabela 7 – Chance em % de um arquivo ser falso	25

# 1. INTRODUÇÃO

O que seria do mundo dos Sistemas de Informação sem os incríveis recursos de áudio, imagem e vídeo? Seria um campo chato e cheio de textos, tabelas e gráficos sem fim. Nesse cenário cada vez mais competitivo, aqueles que tiverem habilidades e conhecimentos em áudio, vídeo, comunicações e TI o suficiente para convergir tudo em algo de qualidade, serão os que terão mais chance de prosperar com grande diferencial. E de uma parte desses temas que este trabalho irá tratar, o áudio.

## 2. OBJETIVO

Analisar os principais aspectos teóricos e práticos envolvidos no áudio, compreendendo os fundamentos da compressão de dados com perdas (lossy) e sem perdas (lossless). Examinar e comparar, através de experimentos, os formatos de áudio mais usados atualmente. Analisar e discutir o uso correto dos principais formatos de áudio no contexto de sistemas de informação.

## 3. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho seguiu os princípios básicos do Método Científico e consiste, majoritariamente, de vários testes envolvendo Áudio em Multimídia. Os fones utilizados foram um Sennheiser HD 598 e um Pisc 1877.

### 3.1. Atividade 1: Entropia na prática

Foi utilizado um código em C que gera arquivos binários de 10MB formado por números inteiros não negativos de 8 bits. O arquivo foi gerado de três modos:

- Modo 1: números aleatórios de 0 a 255. *FileRandom\_0\_To\_255.bin*;
- Modo 2: números aleatórios de 0 a 25. *FileRandom\_0\_To\_25.bin*;
- Modo 3: números não-aleatórios e não-equiprováveis. *FileNoRandom.bin*.

### 3.1.1. Código em C

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <string.h>
#define MB_1 1048576
#define RANDOM_MAX 255
#define RANDOM_MIN 25

int main(int argc, char *argv[]){
    srand(time(NULL));
    /*this variable is size of file in MB*/
    int size_file = atoi(argv[1]);
    unsigned char *vetArqRandomZeroTo256 = malloc(MB_1);
    unsigned char *vetArqRandom25 = malloc(MB_1);
    unsigned char *vetArqNoRandom = malloc(MB_1);
    int numberOfBytes;
    unsigned char vet255, vetrandom25;
    FILE *arqRandomTo255 = fopen("FileRandom_0_To_255.bin", "w");
    FILE *arqRandom25 = fopen("FileRandom_0_To_25.bin", "w");
    FILE *arqNoRandom = fopen("FileNoRandom.bin", "w");

    for(int i = 0; i<size_file; i++){
        numberOfBytes = 0;
        while(numberOfBytes != MB_1){

            vet255 = rand() % RANDOM_MAX;
            vetrandom25 = rand() % RANDOM_MIN;
            /*inserting random value in vector*/
            vetArqRandomZeroTo256[numberOfBytes] = vet255;
            vetArqRandom25[numberOfBytes] = vetrandom25;

            /*checking if the variable is in range of 0 to 9 in table ASCII*/
            if(vet255 >= 65 && vet255 <= 90 || vet255 >= 97 && vet255 <= 122){
                vetArqNoRandom[numberOfBytes] = vetrandom25 + 40;
            }else{
                /*checking if the variable is in range of A to Z in table ASCII*/
                if(vet255 >= 65 && vet255 <= 90){
                    vetArqNoRandom[numberOfBytes] = vet255;
                }
                /*if not, inserting value _*/
                else{
                    vetArqNoRandom[numberOfBytes] = '_';
                }
            }
            numberOfBytes += 1;
        }
        numberOfBytes -= 1;

        /*write in binary files*/
        fwrite(vetArqRandomZeroTo256, 1, numberOfBytes, arqRandomTo255);
        fwrite(vetArqRandom25, 1, numberOfBytes, arqRandom25);
        fwrite(vetArqNoRandom, 1, numberOfBytes, arqNoRandom);
    }
    fclose(arqRandomTo255);
    fclose(arqRandom25);
    fclose(arqNoRandom);
    return 0;
}
```

### 3.1.2. Compressão dos arquivos

Após a geração dos arquivos, foram utilizados softwares de compressão de dados para comprimir cada um dos arquivos. Os valores encontrados encontram-se na tabela abaixo:

Percentual de Compressão dos Arquivos				
Arquivo	WinZip	Winrar	7-Zip	KGB Archiver
1. <i>FileRandom_0_To_255.bin</i>	100%	100%	101%	100%
2. <i>FileRandom_0_To_25.bin</i>	63%	64%	60%	58%
3. <i>FileNoRandom.bin</i>	37.9%	38%	34.3%	29.9%

*Tabela 1 - Desempenho de compressão dos arquivos binários.*

Ao analisar os resultados, podemos de cara verificar que a entropia é maior no caso 1 e menor no caso 3, já que ela é inversamente proporcional a quantidade máxima de compressão que pode ser alcançada.

A compressão em um arquivo completamente aleatório, como no caso 1, foi de 0%. Nesse arquivo tudo é total desordem, não sendo possível identificar nenhum tipo de padrão. Fazendo uma analogia com áudio, é como se fosse puro ruído. O arquivo não pode ser comprimido pois todos os números são equiprováveis. Logo, não é possível aplicar nenhum modelo de predição.

No caso 2, mesmo os números sendo equiprováveis, reduzimos o intervalo dos mesmos. A compressão deu um resultado satisfatório, com uma redução de praticamente 40% do tamanho original. Isso porque a probabilidade de aparecerem sequências de números repetidas é maior, já que só há opções de 0 a 25, formando mais padrões que podem ser comprimidos.

O arquivo não aleatório, caso 3, teve uma excelente taxa de compressão, mesmo porque, da forma que o código foi escrito, cerca de 80% é apenas um único símbolo repetido, juntando isso ainda aos possíveis padrões que possam aparecer, o potencial de compressão é altíssimo, tendo uma redução média nesse caso de mais ou menos 65% do tamanho original.

Importante ressaltar que mesmo os softwares de compressão tendo desempenho um pouco diferente, chegando a 8% de diferença (Winzip vs. KGB) no melhor caso de compressão, eles tiveram resultados semelhantes em relação a entropia. Comprovando mais uma vez que a teoria está correta.

### 3.1.3. Entropia dos arquivos

A entropia de um arquivo pode ser lida como, a quantidade mínima de bits necessários para representar cada símbolo dos dados, aplicando um algoritmo simples que calcula a entropia, temos os seguintes resultados:

Entropia dos arquivos		
Arquivo	Original	Winrar
1. <i>FileRandom_0_To_255.bin</i>	$\cong 8$	$\cong 8$
2. <i>FileRandom_0_To_25.bin</i>	$\cong 4,8$	$\cong 8$
3. <i>FileNoRandom.bin</i>	$\cong 1,5$	$\cong 8$

Tabela 2 - Valor da entropia presente nos arquivos.

Ao analisar os resultados podemos notar que quanto menor a entropia, ou seja quanto menor a aleatoriedade dos dados no arquivo, menor será a quantidade média para representar um símbolo no arquivo em bits. Assim o arquivo "*FileRandom\_0\_To\_255.bin*", tem o maior nível de desordem, note que tanto a versão original quanto a versão comprimida, tem praticamente os mesmos valores de entropia, fazendo com que seja ineficaz a compressão desse arquivo, sendo possível até que haja um aumento no tamanho do arquivo a depender do algoritmo de compressão, agora analisando o "*FileRandom\_0\_To\_25.bin*", mesmo tendo o range de números aleatórios em 10% do original, nota-se que não é linear a diminuição da entropia, pois mesmo tendo um conjunto de valores menores, ainda assim não existe um padrão que o algoritmo possa prever, a fim de causar uma maior compressão, enquanto isso no nosso último caso do arquivo "*FileNoRandom.bin*", nós temos a menor entropia e por consequência a maior compressão, isso se dar por que o arquivo gerado tem uma maior previsibilidade nos seus dados. Abaixo o somatório da entropia.

file no random:

$$E = \frac{7.9}{10} \log_2 3 + \frac{1.2}{10} \log_2 3 + \frac{0.9}{10} \log_2 3 = 1.58496(bits)$$

file random 0 to 255:

$$E = \sum_{i=0}^{256} \frac{1}{256} \log_2 256 = 8,03125(bits)$$

file random 0 to 25:

$$E = \sum_{i=0}^{26} \frac{1}{26} \log_2 26 = 4,88121(bits)$$

## **3.2. Atividade 2: Áudio Binaural**

Ouvir três áudios binaurais selecionados pelo professor e relatar a nossa experiência.

### **3.2.1. Experiência Alexandre**

Após feito a análises dos áudios binaurais, é possível notar uma grande percepção espacial do ambiente, apesar de não expressar nenhuma feição, por já está preparado para o que estava por vir, diversas vezes quando distraído e de repente ouço uma batida na porta por exemplo, então me vejo tirando os fones para ver se o som vinha da porta de casa ou não, acredito que essa técnica é muito importante para os óculos de realidade virtual, fazendo com que haja uma imersão ainda maior.

### **3.2.2. Experiência Maikysuel**

Como no momento da atividade eu não tinha ninguém para me observar, deixei uma câmera me filmando enquanto fazia a audição para depois eu mesmo me avaliar, no fim das contas acabei achando bem melhor dessa forma. Ao longo do áudio fica nítido esboços de pequenos risos devido a forte de sensação de realismo. Quando o barbeiro está falando pelas suas costas, fica claro que ele está de um lado para o outro, mas quando o outro homem para em um canto da sala e começa a dedilhar seu violão, é absurda a incrível percepção de espaço, parece que ele realmente está a uns 2 metros na minha diagonal esquerda.

Outras reações são pequenos momentos de sobrancelhas cerradas e pequeno encolhimento dos ombros, principalmente quando o barbeiro começa a usar a tesoura, máquina ou quando ele sussurra em seu ouvido, assim como o homem do outro áudio explicando como funciona o áudio binaural, falando nele, uma grande sensação de agonia quando ele começa a amassar o papel atrás da nossa cabeça. O áudio das bolas quicando apenas demonstra como a espacialidade é completamente variável nas três dimensões.

Depois eu fiz o teste com minha esposa, que foi muito mais divertido, como ela não fazia a mínima ideia do que iria escutar, ficou rindo muito quase que o tempo todo e fazendo algumas poucas caretas.



### 3.3. Atividade 3: Avaliando compressão de áudio sem perdas

#### 3.3.1. 3A – Análise, escolha e compressão das músicas

Características gerais das músicas disponibilizadas. O número indica o suposto grau de complexidade para a produção da música de acordo com percepção e avaliação pessoal. Em uma escala de 0 a 10. Sendo 0 a menos complexa e 10 a mais complexa.

- 6 - **Avicii - Wake Me Up**: Instrumental simples, porém com muitos efeitos FX.
- 7 - **Bee Gees - Words**: Sonoridade datada, chega até parecer AM, bateria baixinha.
- 3 - **Bruce Springsteen - Nebraska**: Voz com Reverb e violão dedilhado. Solos de gaita. Strings no fundinho.
- 6 - **Coldplay - Midnight**: Sintetizador abusando do efeito stereo. Loops de efeitos. Voz com efeito FX.
- 7 - **Coldplay - Paradise**: Muito sintetizador e strings. Bateria proeminente. Piano guiando a música.
- 5 - **Coldplay - Princess Of China**: Muito FX. Bateria e contrabaixo parecem estar rachando.
- 4 - **Coldplay - Sunrise**: Belos instrumentos típicos de orquestra.
- 2 - **Death Cab For Cutie - I Will Follow You Into The Dark**: Violão rítmico e voz cru.
- 8 - **Eagles - Hotel California**: Ao vivo. Instrumentos bem separados. Boa sensação de espacialidade.
- 5 - **Ed Sheeran - I See Fire**: Voz e violão com final dramático.
- 6 - **Embrace - Gravity**: Piano, bateria e distorção. Voz constante.
- 6 - **Goo Goo Dolls - We'll Be Here**: Bateria, distorção e voz constante. Só notamos o órgão no finalzinho.
- 5 - **Lasgo - Intro**: Muito efeito digital abusando do stereo. Strings compõe a harmonia.
- 7 - **Marron 5 - Unkiss Me**: Tem um chiado inconveniente. Bastante produção.
- 6 - **Oasis - Supersonic**: Instrumentos naturais. Distorção leve. Produção levemente “suja”.
- 5 - **Puddle Of Mudd - Blurry**: Bastante distorção. Boa variação de vozes.
- 8 - **Shout Out Louds - Illusions**: Boa produção. Muitos detalhes acontecendo. Harmonização de vozes.
- 4 - **The Album Leaf - Window**: Efeitos sonoros executados de forma relaxante.

As Duas músicas menos complexa foram Death Cab For Cutie - *I Will Follow You Into The Dark*, Doravante IWFYITD e Bruce Springsteen - *Nebraska*.

Enquanto as duas músicas mais complexa foram Eagles - *Hotel California* e Shout Out Louds - *Illusions*.

Foram utilizados o Foobar2000 v1.5.4 e o WinRAR 5.91 (64-bit) para realizar todas as compressões.

Percentual de Compressão dos Áudios					
Música		RAR	FLAC	Monkey's Audio	Apple ALAC
<	IWFYITD	74%	47%	42%	48%
	Nebraska	70%	50%	46%	50%
>	Hotel California	74%	66%	63%	67%
	Illusions	81%	71%	69%	71%
	Ruído Branco St	100%	100%	102%	100%
	Ruído Branco Mo	100%	100%	102%	100%

Tabela 3 - Desempenho de compressão lossless dos arquivos áudio.

Os menores bitrates encontrados foram *IWFYITD* entre 599 e 679 kbps e *Nebraska* entre 656 e 712 kbps, sendo coerente com o que acreditávamos ser mais simples. Logo os mais altos foram *Hotel California* entre 894 e 946 kbps e *Illusions* entre 972 e 1008 kbps.

Ao observar as duas músicas mais simples no espectrograma, fica nítido como elas possuem menos informação, o gráfico é mais limpo, com a maioria das frequências na mesma intensidade, praticamente só as baixas frequências alcançam uma amplitude de destaque. Interessante observar como a *IWFYITD* tem vários transientes ao longo da música, devido a forma quase percussiva que o violão é tocado, fazendo variações bruscas na amplitude. Outro comportamento curioso é o som da gaita em *Nebraska*, formando “transientes” na horizontal e bastante tremidos, poderíamos dizer que é uma característica estacionária, com certeza uma característica natural do timbre da gaita.

*Hotel California* é um show à parte de transientes nítidos do início ao fim da música com boa presença de frequências médias nas partes cantadas, principalmente nos refrãos e backing vocals. A *Illusions* se provou a música mais complexa com um espectrograma denso e colorido e uma frequência maior de transientes. Obviamente tem muita coisa acontecendo na música, com uma passagem aos 2:50 bem legal mostrando um pouco da característica estacionária com um som mais suave e contínuo.

Nós também não deixamos de reparar em um detalhe bem importante, independente do formato escolhido, os espectrogramas eram todos idênticos, uma vez que foi usada compressão sem perdas, é claro que não houve perda de informação, sendo o arquivo comprimido idêntico ao original sem compressão. O RAR também, apesar de ter conseguindo um certo desempenho, ele não teve resultados tão bons quanto os codecs

específicos. O RAR é um compressor genérico, seus algoritmos não são tão bons em encontrar redundâncias em áudio quanto os codecs de áudio, ele não faz a conversão dos canais L e R para a correlação X e Y para com o preditor identificar as redundâncias e só então aplicar algum algoritmo de redundância.

O ruído branco não foi surpresa alguma, tanto na hora de comprimir, quanto na hora de analisar seus espectros. Constatamos todas as frequências variando na mesma intensidade de forma totalmente aleatória. Já sabíamos que não haveria compressão, conforme foi a experiência do primeiro arquivo binário na atividade 1. Muita entropia, sem padrões ou redundâncias, não abre margem para nenhum tipo de compressão. A diferença do *mono* para o *stereo*, é que este possuindo dois canais, possui o dobro do tamanho do *mono*.

### 3.3.2. 3B – Teste de descompressão

Utilizada a música Eagles-Hotel California para os testes.

Velocidade de Descompressão	
Codec	Realtime
WAV	32687,427x
FLAC	951,297x
ALAC	377,136x
Monkey's Audio	73,678x

Tabela 4 - Desempenho de compressão lossless dos arquivos áudio.

A primeira coisa que observamos de cara é que o Codec Monkey's Audio além de ser mais lento, é muito mais lento que os outros Codecs sendo aproximadamente 444 vezes mais lento que o WAV na hora de fazer uma descompressão. Enquanto o FLAC é apenas 34 vezes mais lento e o ALAC 86 vezes mais lento.

Sabemos que precisamos colocar na balança a compressão X desempenho, o Monkey's Audio por ser mais novo pode se aproveitar da enorme evolução do hardware, podendo alcançar compressões mais eficientes em detrimento do processamento exigido, fato este comprovado na Tabela 3. Entretanto ele foi capaz de aumentar o tamanho dos áudios de ruído, não sendo possível aplicar nenhum modelo de predição, ele deveria ter desativado o algoritmo de compressão.

### 3.4. Atividade 4: Qualidade de Áudio Lossy

#### 3.4.1. 4A – Análise pontual das músicas

Utilizado os codecs **MP3** (Lame -V2) e **AAC** (Apple VBR Q 91) para compressão das músicas. Feito análise das músicas no formato MP3.

Tabela de Compressão Lossy		
	Bitrate Médio (kbps)	
Música	MP3	AAC
Puddle Of Mudd - Blurry	195	194
Embrace - Gravity	192	183
Eagles - Hotel California	203	209
Ed Sheeran - I See Fire	168	149
Death Cab For Cutie - IWFYITD	147	108
Sout Out Louds - Illusions	193	180
Lasgo - Intro	228	201
Coldplay - Midnight	182	185
Bruce Springsteen - Nebraska	149	133
Coldplay - Paradise	192	186
Coldplay - Princess Of China	195	186
Coldplay - Sunrise	170	174
Oasis - Supersonic	194	189
Marron 5 - Unkiss Me	196	174
Avicii - Wake Me Up	190	178
Goo Goo Dolls - We'll Be Here	235	205
The Album Leaf - Window	196	199
Bee Gees - Words	126	102

Tabela 5 – Valores de bitarte da compressão com perdas.

- **Avicii - Wake Me Up:** observamos o corte nas altas frequências e que o bitrate fica maior quando a música está mais cheia, como nos refrãos por exemplo. Aos 1:10 inicia-se um loop curto com notas de média frequência, ele não é mascarado pelos instrumentos que vão entrando pouco a pouco pois não há risco de *Mascaramento em Frequência*, já que não há concorrência de frequências, ficando cada instrumento bem definido em sua banda. Nos momentos mais animados a música topa em seu volume máximo com 0 dB em ambos os canais;
- **Bee Gees - Words:** como dito anteriormente, a música está bastante datada, parece que estamos escutando em um radinho limitado. Apesar de que, bandas como Pink Floyd fizeram verdadeiros milagres em 1976, ano de lançamento da música, época em que os recursos de produção eram muito mais limitados que hoje em dia é claro, mas se eu ouvisse um Dark Side of the Moon, lançado três

anos antes e alguém me dissesse que foi lançado ano passado eu iria acreditar. A gente sente um ruído constante ao longo de toda a música que aparece como uma mancha transparente ao longo de todo o espectrograma. A bateria está bem de fundo com pouquíssima definição. Aparentemente temos pouca informação aqui, por isso um bitrate tão baixo.

- **Bruce Springsteen - Nebraska:** mais uma voz violão, porém aqui temos uma produção um pouquinho mais sofisticada. Além da voz tem um reverb na medida certa e o violão estar mais dedilhado, temos a gaita fazendo os solos, gerando formas únicas no espectrograma, algo como passar um pente fino na areia. Acho que não é à toa que a gaita também é chamada de *Harmônica*.
- **Coldplay - Midnight:** a primeira música totalmente sem transientes, um suave, porém bastante preenchido. O grave do baixo tem uma presença marcante, mas não é algo que salta na frente de tudo, ele quase que não possui ataque, as notas aparecem com força sem ser repentino. A partir de 3:19 nem precisamos olhar a taxa de bitrate, com o espectrograma se assemelhando a um ruído, sabíamos que ali o bitrate estaria acima da média.
- **Coldplay - Paradise:** bitrate começa estável com volumes próximo de -10 dB. Na transição para entrar toda a banda, em nossos testes chegou a bater 232 kbps, no exato momento que um contrabaixo distorcido lança uma nota bem grave, passado esse momento de “estouro” o bitrate volta a se estabilizar com volumes colado em 0 dB. A princípio achávamos que o bitrate iria subir nesse ponto, porém talvez tenha muita redundância e dessa forma ele não foi lá para as alturas.
- **Coldplay - Princess Of China:** não foi necessária avaliação nesta etapa do trabalho.
- **Coldplay - Sunrise:** música com espectrograma completamente estacionário. O violino gera um gráfico muito parecido com a gaita de *Nebraska*. Entretanto o violinista se vale de uma técnica impossível\* de ser executada na gaita, que é o vibrato. Ele balança sutilmente os dedos oscilando a frequência da nota levemente para cima e pra baixo numa velocidade alta, por isso a forma das linhas no gráfico fica levemente ondulatória. Nos momentos que estão retas é porque o violinista está tocando a nota sem o vibrato. \*Fazendo uma analogia com o mundo eletrônico, a gaita seria digital enquanto o violino seria analógico.
- **Death Cab For Cutie - IIFYITD:** voz e violão apenas, produção super simples. Grande variação dinâmica. Baixo bitrate oscilando de forma uniforme ao longo da música.
- **Eagles - Hotel California:** musiquinha acústica com três violões muito bem

arranjados e uma percussão que começa aos pouquinhos preenchendo toda a música na medida certa. Como dito anteriormente, o palco sonoro ficou ótimo nessa gravação. É a primeira música aqui da lista que a amplitude não fica colada em 0 dB, temos uma boa variação dinâmica. Num primeiro momento poderíamos achar se tratar de uma música menos complexa, mas tem muita coisa acontecendo aqui, como por exemplo em 1:52 um efeito “mágico” atravessa bem no meio da nossa cabeça do ouvido esquerdo até o ouvido direito ou os gritos e palmas da plateia, que também foram captados. É realmente uma ótima música para ficar acompanhando individualmente cada instrumento, acompanhar o contrabaixo do início ao fim é um prazer a parte, de fato não há mascaramento de frequência. O espectrograma não nos revela tantas coisas como a música anterior. Temos a forte presença dos transientes e zonas com “manchas” indicando as partes cantadas. No final a plateia gera um forte som com 0 dB e com aparência de ruído no espectrograma, não sendo à toa a partes com maiores taxas de bitrate.

- **Ed Sheeran – I See Fire:** incrível como mesmo a voz humana sendo um “instrumento melódico” (ela só pode executar uma nota por vez) gere uma imagem espectral tão incrível, com a presença de inúmeras frequências (como faz bem os harmônicos). O vibrato executado pelo cantor aparece nitidamente no gráfico. O violão entra a seguir com seus transientes suaves quase como no piano, o violão com cordas de nylon tem um som mais “macio”. A música é cantada em duas vozes, formando uma harmonia muito suave. O espectro tem uma aparência mais estacionária, até a entrada do chocalho aos 1:49, instrumentos percussivos geram transientes mais definidos. Aos 3:33 temos um aumento nas taxas de bitrate. A música fica com um pequeno coral e mais instrumentos preenchendo as frequências vagas. Em 3:58 o bitrate alcança taxas máximas, graças a um som mais “orquestrado”. Fizemos um teste aplicando um filtro lowpass, a música continua audível, mas completamente abafada, parece que estamos ouvindo alguém cantar em um quarto fechado e longe, como se só as frequências baixas chegassem aos nossos ouvidos. Ou como se a música tivesse sido gravada em uma baixa taxa de amostragem, algo como 11KHz.
- **Embrace - Gravity:** como é divertido e fácil observar o espectrograma dessa música, na introdução temos o piano com seu pedal de *sustain* pressionado gerando formas estacionárias (com transientes sutis devido o ataque das teclas) no gráfico com cores suaves nas bandas de média frequência. Logo em seguida a bateria entra formando o famoso “pente” com vários transientes, ao mesmo

tempo as notas do contrabaixo aparecem em tons laranjas quase vermelhos. Para cada verso cantando temos “transientes horizontais” nos mostrando exatamente onde a voz está. Na ponte para entrar no refrão os transientes vão ficando mais estacionários devido a guitarra que vem entrando cada vez mais forte, até que o refrão começa com todos os instrumentos preenchendo de maneira espaçada todo o espectrograma. Na segunda parte as coisas se repetem, porém, com transientes mais largos devido a guitarra mais evidente ao longo do restante da música, legal como uma distorção mediana se comporta por aqui. O bitrate se comporta da maneira como esperávamos ao longo da música, ficando acima da média nos refrãos. Ao contrário da música *Blurry*, em *Gravity* mesmo com a distorção, os outros elementos da música são audíveis.

- **Goo Goo Dolls - We'll Be Here:** música com o maior bitrate da lista. Todas as frequências estão sendo bem valorizadas aqui, temos um espectrograma bastante preenchido e o analisador de espectro pulsando com um formato quase que horizontal. Temos bitrates mais baixos nas estrofes e mais altos nos refrãos, quando as guitarras ficam mais distorcidas, porém sem tanto mascaramento de frequência.
- **Lasgo - Intro:** de cara já percebemos se tratar de algo diferente, se tivéssemos visto o espectrograma antes de ouvir a música iríamos algo na linha digital. Talvez até uma musiquinha de videogames 16 ou até mesmo 8 bits. Não dá nem vontade de analisar ela, só curtir a “vibe”. Curioso que apesar de ser algo totalmente sintetizado, o bitrate precisou se manter em valores mais altos que as outras músicas, indo contra nossa intuição. Pelo espectrograma podemos ver que as frequências estão bem separadas, gerando transientes quase que pontilhados. O efeito stereo foi bem explorado, inclusive podemos confirmar isso observando as colunas de cada canal, elas pulsam alternadamente enquanto os efeitos sonoros vão “pipocando” nos ouvidos.
- **Marron 5 - Unkiss Me:** incrível, o bitrate inicia batendo a incrível marca de 320 kbps e segue oscilando com piso de 260 kbps. É incrível porque não tem quase nada acontecendo, apenas um bumbo, uma nota alta de algum efeito de sintetizador e um efeito de fundo que lembra muito um ruído oscilatório. Quando a voz entra curiosamente o bitrate cai um pouco. A medida que a música vai se “completando”, o bitrate se estabiliza próximo da média. Nos segundo finais, com um efeito semelhante a introdução, o comportamento do bitrate fica parecido com o início da música. Aparentemente o codec de compressão interpretou esse efeito como algum tipo de ruído.
- **Oasis - Supersonic:** rock n' roll tradicional com guitarras com média distorção

e bateria constante. Voz principal sempre na mesma entonação. Amplitude da música “colada” em 0 dB sem qualquer variação dinâmica. Em termos de análise não há muito para se ver aqui.

- **Puddle Of Mudd - Blurry:** observamos o corte nas altas frequências. Música dividida em estrofes limpos com refrãos bem “sujos”. Seria intuitivo achar que o bitrate ficaria maior nos refrãos, mas é justamente aqui que o bitrate fica abaixo da média. Ao contrário da estrofe onde conseguimos ouvir vários instrumentos isoladamente, como as guitarras, baixo, bateria, preenchimento com algum tipo de efeito no teclado e vozes, no refrão a distorção toma conta e há muito mascaramento de frequência, gerando muita redundância de sons.
- **Shout Out Louds - Illusions:** na introdução já percebemos que teremos uma boa produção por aqui. As frequências estão bem distribuídas, ficando fácil ouvir cada instrumento fazendo seu papel. É legal observar os vocais feminino no espectro, eles aparecem um pouco mais acima que as vozes masculinas, no refrão todas as vozes se unem. A partir de 2:48 temos a oportunidade de observar a música sem a parte percussiva e seus transientes, é só o contrabaixo entrar e as baixas frequências começam a ficar mais avermelhadas. No geral há muito pouco mascaramento de frequência.
- **The Album Leaf - Window:** mais uma música que dá pena analisar de tão relaxante que é. Essa nos lembrou um jogo para celular que manda usar fones de ouvido para jogar, *monument valley*. Espectrograma bastante didático, praticamente um “guitar hero” da música sendo executada. Cada linha daquela é uma frequência, que se unem para formar um timbre tão agradável. Aos 2:00 novos “instrumentos” entram preenchendo mais a música e tornando o gráfico mais estacionário.

**Desafio Bônus 2:** apesar dos espectros serem semelhantes, a música do Coldplay, possui notas e frequências mais bem definidas, além de serem pulsantes. A música do Marron 5 possui um efeito eletrônico que se parece muito mais com um ruído, resultando numa aleatoriedade muito maior, provavelmente dificultando a capacidade de compressão do algoritmo.

#### 3.4.2. 4B – Teste de transparência

Nesta etapa fizemos compressão de cinco músicas nos formatos MP3 e AAC, partimos



dos parâmetros -v2 e Q 64 respectivamente e fomos diminuindo até a música não ter mais transparência em relação a original. Feito teste ABX para tal. Como os testes foram feitos por duas pessoas, decidimos aquele que conseguisse o menor nível de compressão possível para o relatório, em seguida o outro refez a avaliação baseado nas observações do colega.

Decidimos em ser muito criterioso nos testes, talvez por não aumentarmos muito o nível de compressão, não fomos capazes de identificar muitos artefatos. Ficando as observações no nível do detalhe.

Na primeira rodada reprovamos em todos os testes. Resultado final abaixo.

### 1. Eagles - Hotel California:

- **MP3:** descemos até -v5 sem conseguir passar no teste. Em -v6 foi percebida uma pequena sensação artificial em alguns glissandos no violão, porém não foi o suficiente para passarmos no teste. Em -v7 já estávamos até suspeitando de estar fazendo algo errado, neste ponto a taxa de amostragem já estava em 32KHz e não conseguimos p-value melhor que 17,19%. Já em -v8 apesar de ter conseguido um teste perfeito de *p-value: 0,1%*, foi muito difícil reparar detalhes, apenas uma definição de acordes de violão ligeiramente menos precisa. Foi utilizado um trecho em específico em 5:57 para fazer a votação. Incrivelmente já estávamos em uma amostragem de 24KHz e um bitrate de 96 kbps.
- **AAC:** Q 27. De maneira espantosa e apenas com bitate de 77 kbps conseguimos sentir uma real diferença, no geral a música perdeu um pouco de brilho. *p-value: 0,1%*. Essa música foi muito difícil de avaliar nos dois codecs. *p-value: 0,1%*.

### 2. Embrace – Gravity:

- a. **MP3:** -v6, foi notado que estava acontecendo algo estranho com o chimbal, em alguns momentos ele tinha uma ínfima vibração, principalmente percebido em 2:06. *p-value: 0,1%*
- b. **AAC:** Q 18, Só foi possível perceber uma ligeira perda de brilho da música. *p-value: 1,07%*.

### 3. Oasis – Supersonic:

- a. **MP3:** -v5, logo na introdução percebeu-se algo diferente na caixa da

bateria, enquanto no lossless ela é contida, aqui ela dá uma “espalhada”, ressoando de maneira sutilmente diferente. Tentamos reparar algum outro detalhe na música, porém não conseguimos. *p-value: 1,07%*.

- b. **AAC:** Q 36, aconteceu um fenômeno interessante, a música ficou mais magra e ligeiramente mais grave, é como se ele tivesse sido masterizada de outra forma. *p-value: 0,1%*.

#### 4. Shout Out Louds – Illusions:

- a. **MP3:** -v4, foi o primeiro teste que conseguimos fazer um p-value de 1% e ficamos bastante satisfeitos. Não conseguimos perceber quase nenhuma diferença, prestamos atenção em cada elemento da música, bateria, voz, baixo, guitarras, etc. O único detalhe foi uma definição na guitarra base que fica bem no fundo da música mesmo, na versão comprimida ela tem um pouquinho menos de definição nas passagens de acordes, algo quase imperceptível. Para fazer as votações nos concentramos em uma passagem específica da música, por volta de 0:21. *p-value: 1,07%*.
- b. **AAC:** Q 36, os pratos de ataque da bateria passaram a ressoar menos em alguns momentos. *p-value: 0,1%*.

#### 5. The Album Leaf – Window:

- a. **MP3:** -v6, de cara, antes da música começar já percebemos algo diferente, a original possui um ruído típico de um microfone quando inicia a gravação. Já na comprimida, esse ruído sumiu, porém, apareceram vários artefatos no fundo, como vários pequenos vermes. Só por aqui já conseguiríamos passar no teste. Essa característica também foi percebida ao fim da música, quando o volume vai diminuindo. *p-value: 0,1%*
- b. **AAC:** Q 9, percebemos uma pequena distorção nas notas graves e subgraves da música a partir de 2:00. *p-value: 0,1%*.

#### 6. Desafio Bônus Hotel Califórnia Aplausos:

- a. **MP3:** convertimos até -v9 sem sucesso, não conseguimos passar no teste ou notar qualquer diferença. Aparentemente aplausos se comportam como ruídos, ficando difícil para o algoritmo decidir o que retirar.
- b. **AAC:** em Q 18 foi percebido uma pequena perda de volume na

intensidade da plateia. Conseguimos passar no teste.

### 3.4.3. 4C – Performance dos codecs

Feito análise das músicas em vários níveis de compressão e codecs. MP3, AAC-LC, HE-AAC e Opus, variando entre 48, 64 e 96 kbps. Usamos o *ABX Comparator* para facilitar os testes.

#### 1. **Eagles - Hotel California:**

Os testes com o AAC-LC foram excepcionais, nos três níveis o nível de transparência foi muito bom e poderiam muito bem ser utilizados para áudio de músicas pessoais. Já o MP3 dá até para usar o 96 kbps, entretanto já nota-se uma pequena perda de definição nas notas graves e principalmente nas subgraves. Em 65 kbps finalmente conseguimos ouvir os famosos artefatos, logo ao dar play já pudemos ouvir algo como “vidro brilhando” e essas coisinhas continuam ao longo da música, sendo suficiente para incomodar, adiciona-se a isso o aumento dos problemas nos graves e já era. Em 48 kbps sem condições, música abafada e sem vida.

Os HE-AAC e Opus foram muito competentes, sendo os melhores em baixo bitrate. Apesar de não passarem no teste de transparência em 64 e 48 kbps, não chegaram ao ponto de tornar a música inviável. Com um arquivo tão pequeno e qualidade tão boa, são ótimos para streaming por exemplo.

#### 2. **Embrace – Gravity:**

Esse AAC-LC realmente faz um bom trabalho, percebemos um abafamento quase imperceptível nos 48 kbps e por incrível que parece com quase metade do espectrograma ceifado.

MP3 mais uma vez decepcionando, em 96 kbps som ligeiramente mais embolado, artefatos em 64 kbps e péssima qualidade em 48 kbps. Já podemos bater o martelo, MP3 em baixos bitrate nem pensar, ninguém quer ouvir algo pior que rádio AM.

Já que HE-AAC e Opus novamente surpreenderam com boa qualidade, resolvemos analisar o espectrograma, interessante como ele corta uma faixa bem pequena das altas frequências e ainda sim o arquivo fica muito pequeno. Para um leigo esse formato é mais que suficiente.

### **3. Oasis – Supersonic:**

Aqui o AAC-LC em 64 kbps ficou levemente mais magra, enquanto em 48 kbps além de um pouquinho mais magra parece estar puxando para algo metalizado. Mas dado em vista de como o espectrograma é tão diferente, é incrível como soe tão natural mesmo assim.

Em MP3 96 kbps nos parece que a guitarra base ficou um pouquinho mais suja, e a bateria menos expressiva, em 64 kbps surgem vários artefatos e a bateria perde a vida de vez. 48 kbps, as guitarras perderam completamente a definição e nitidez, a voz fica na incumbência de carregar a música.

Foi possível notar uma música um pouquinho mais magra em HE-AAC 64 kbps, mas o mais interessante mesmo foi em 48 kbps, a bateria ficou como plástico derretido, oscilando no fundo da música com pouca definição, além da música ter ficado mais magra ainda, me parece que o codec não faz milagres no fim das contas.

É, parece que os codecs com foco em baixo bitrate não se dão bem com muita distorção. O Opus também não foi capaz de segurar as ondas com essa música. Em 96 kbps as coisas ficaram dentro da normalidade, porém em 64 kbps a música perdeu definição, principalmente por causa das guitarras, e a voz perdeu presença. Mas foi em 48 kbps que o codec resolveu se comportar como um MP3 de baixo bitrate, música sem brilho, embolada, voz faltando muitas frequências, e o pior de tudo, a música parece que fica oscilando, é uma sensação bem inconveniente. E se você olhasse o espectrograma nunca iria pensar que perdeu tanta qualidade.

Infelizmente a grande redução no tamanho da música não compensou a perda de qualidade nesse caso.

### **4. Shout Out Louds – Illusions:**

É difícil explicar, mas o AAC-LC 98 kbps possui uma áurea diferente, é quase como ela fosse mais sombria que a original, é algo tão sutil que achamos que fosse apenas impressão ou efeito placebo, decidimos passar pelo teste ABX e realmente, conseguimos um p-value de 0,1%, talvez seja apenas nossos ouvidos ficando mais treinados ao longo de tantos testes. Em 64 kbps a sensação anterior ficou mais evidente e em 48 kbps um pouquinho abafada, mas nada que afete a qualidade em um teste sem referências.

Talvez essa seja a redenção do MP3, em 96 kbps o teste foi muito satisfatório,

engraçado como quando você está a tanto tempo procurando defeitos, começa a ouvir coisas bem esquisitas que não havia reparado antes, e quando vai lá no arquivo original, adivinha, a esquisitice está lá também. Em 64 kbps a música já perde seu brilho e em 48 kbps vira radinho AM e muitos efeitos originais da música ficam com um aspecto meio indefinido, oscilando entre um ruído ou alguma harmonia.

HE-AAC e Opus perderam um pouquinho de definição em 48 kbps, mas ainda sim continuaram muito aceitáveis. Nas outras taxas de bitrate se saíram muito bem, talvez uma tendência mais metalizada em 64 kbps.

## 5. The Album Leaf – Window:

Um pouco de distorção nos graves e subgraves em AAC-LC 48 kbps. Pela primeira vez o MP3 teve um resultado aceitável em todos os bitrates, não percebemos nada estranho, talvez por essa música ter um espectro mais vazio, seu algoritmo soube comprimir melhor essa música.

HC-AAC e Opus mantiveram transparência em todos os níveis de bitrate.

A julgar pelos testes, não usaríamos o codec *MP3* --*abr* para nenhuma aplicação em específico. O *AAC-LC* seria muito útil para guardar a biblioteca de músicas no celular ou computador. Enquanto os *HC-AAC* e *Opus* que parecem ser equivalentes, seriam muito bem usados na internet, aplicativos e jogos, a fim de economizar com dados e tráfego.

### 3.4.4. 4D – Áudio contendo apenas voz

Nesse teste, um áudio contendo apenas voz foi comprimido em diversas taxas de bitrate utilizando os codecs HE-AAC em modo ABR e Opus otimizado para voz em modo CVBR. Em seguida foi feita comparações com o arquivo original.

Em 32 e 24 kbps ao áudio manteve qualidade equiparável, entretanto como o objetivo deste codec é ser o menor possível, nós escolheríamos o **Opus 16 kbps**, já que o HE-AAC nesse bitrate ficou com artefatos no fundo e um som metalizado, muito evidente em algumas sílabas. O Opus 8 kbps perdeu muitas frequências, prejudicando na nitidez das palavras, sem contar a sensação abafada diminuindo drasticamente a qualidade original do áudio.

Haha, pegamos um áudio original do Whatsapp para analisar e olha só, um Opus de 19 kbps, praticamente nossa escolha. Parece que pensamos da forma correta.

#### 3.4.5. 4E – Teste de decodificação

Foi utilizada a música Eagles – Hotel California para os testes.

Velocidade de Descompressão	
Codec	Realtime
WAV	32751,323x
MP3 (LAME -v2)	574,269x
AAC-LC (Apple VBR Q 91)	1202,165x
MP3 64 kbps (--abr 64)	1090,151x
AAC-LC 64 kbps (--cvbr 64)	1667,557x
HE-AAC 64 kbps (--he --cvbr 64)	598,199x
Opus 64 kbps (--cvbr 64)	340,329x

*Tabela 6 - Desempenho de compressão lossy dos arquivos áudio.*

Olhando os resultados vemos que o desempenho do MP3 é bem ruim em relação ao AAC, no caso do -v2 que é equivalente ao Q 91, teve um desempenho menor que 50% em relação ao seu irmão mais novo.

O Opus apesar de entregar um resultado melhor em relação ao seu concorrente HE-AAC, é muito mais custoso em termos de processamento, sendo assim, em dispositivos portáteis onde é largamente usado, terá um maior consumo de bateria.

Essa tabela também serve para nos mostrar que vários fatores precisam ser levado em consideração antes de decidir por qual tecnologia será usada em um projeto.

### 3.5. Atividade 5: *Transcoding* em Áudio

Foram feitas sucessivas compressões em MP3 LAME -v2, sempre usando o arquivo gerado para a próxima, até a sexta compressão.

#### 1. Eagles - Hotel California:

A diferença entre um áudio e outro é imperceptível até a 2ª compressão. Na 3ª compressão percebemos uma sutil perda de brilho, com as notas graves começando a querer sujar. Mas é na 4ª compressão que as coisas começam a

mudar, o timbre dos violões mudou um pouco e eles estão mais “molengos”, para um ouvinte desatento passa despercebido, mas no geral dá pra sentir que tem algo errado que não está certo. Na 5ª compressão a mudança é tão evidente que parece que os violões base estão com algum efeito de *chorus* ou são de 12 cordas por exemplo. O contrabaixo está se arrastando e a música no geral está bem ruim. Na 6ª compressão chega a ficar engraçado, parece que a música ficou gelatinosa, uma verdadeira gosma no chão. Os violões parecem criar artefatos em cada nota que é executada.

## **2. Embrace – Gravity:**

Assim como a música anterior nada estranho até a 2ª conversão. Na 3ª conversão nos parece que o chimbau da bateria está um pouquinho mais pronunciado, mas sabemos que pelos motivos errados. Na 4ª conversão o chimbau, junto com a caixa, já está criando sons que realmente não deveria. Neste ponto a voz já perdeu brilho também, a música no geral já começou a ficar mais suja. 5ª conversão, problemas anteriores agravados, somados a uma guitarra lamacentas. 6ª conversão, tudo que tinha antes muito pior, aqui nem o piano se salvou. Você ainda ouve melodia, percussão, harmonia, vozes, mas tenta ouvir algo isoladamente, tudo é gelatinoso.

## **3. Oasis – Supersonic:**

Sem problemas até a 3ª compressão. Na 4ª compressão começamos a perceber o efeito das músicas anteriores, porém bem mais brando, principalmente no chimbau da bateria. Na 5ª compressão as complicações da bateria ficam nítidas nos primeiros segundos da música, dá até a impressão que ela vai engasgar a qualquer momento, porém a música não está sofrendo tantos problemas como as anteriores. Na 6ª compressão as guitarras ficaram mais escovadas, mas no geral a depreciação não foi tão intensa.

## **4. Shout Out Louds – Illusions:**

Essa música resistiu muito bem, só foi percebido alguns chiados mais pronunciados na 5ª compressão. O fato da música ter vários efeitozinhos de teclado faz com que a gente se confunda um pouco, mas mesmo na 6ª compressão a música não alterou de forma significativa suas características.

## **5. The Album Leaf – Window:**

A música manteve-se praticamente intacta, talvez uma levíssima distorção nos

graves, mas muito sutil. Fizemos mais duas compressões, mas mesmo na 8ª compressão nada significativo.

### **Desafio bônus 1**

Foram feitas sucessivas compressões em AAC VBR Q 91, sempre usando o arquivo gerado para a próxima, até a sexta compressão.

**1. Eagles - Hotel California:**

Comportamento muito melhor que em MP3, só foi percebido uma ligeira perda de brilho na 5ª compressão, ficando mais fácil de perceber na 6ª compressão.

**2. Embrace – Gravity:**

Não conseguimos notar nenhum problema, mesmo na 6ª compressão.

**3. Oasis – Supersonic:**

Um quase imperceptível abafamento na 6ª compressão. Esse codec é realmente incrível.

**4. Shout Out Louds – Illusions:**

Distorções quase imperceptíveis nas baixas frequências na 6ª compressão. Não dá pra afirmar que alterou algo.

**5. The Album Leaf – Window:**

Assim como no MP3, aqui a música manteve-se intacta.

### **Desafio bônus 2**

Fizemos algumas combinações de conversão, começando com -v5 depois passando por vários CBR 320 ou fazendo vários CBR 320 e no fim um -v6, voltando para um -v2. Nada adianta, a conversão seguinte sempre ficou pior que a anterior, independente se estava aumentando, mantendo ou principalmente diminuindo o bitrate.

## **3.6. Atividade 6: Descobrindo se o arquivo de áudio é um Loss/less de verdade**

- Convertido todas as músicas originais para MP3 -v2, em seguida convertida novamente para WAV.



- Convertido todas as músicas originais para MP3 CBR 320 kbps, em seguida convertida novamente para WAV.
- Convertido todas as músicas originais para AAC Q 18, em seguida convertida novamente para WAV. E também AAC Q 91 e depois novamente para WAV.

Probabilidade em % de ser MPEG				
Música	-V2	CBR 320	Q 18	Q 91
Avicii - Wake Me Up	95	99	95	95
Bee Gees - Words	95	100	95	95
Bruce Springsteen - Nebraska	100	90	100	100
Coldplay - Midnight	95	95	100	95
Coldplay - Paradise	95	95	95	95
Coldplay - Princess Of China	95	95	95	95
Coldplay - Sunrise	95	-	99	95
Death Cab For Cutie - IWFYITD	95	-	100	95
Eagles - Hotel California	95	95	95	95
Ed Sheeran - I See Fire	95	-	100	95
Embrace - Gravity	95	95	95	95
Goo Goo Dolls - We'll Be Here	95	-	95	95
Lasgo - Intro	95	-	100	95
Marron 5 - Unkiss Me	95	100	95	95
Oasis - Supersonic	95	-	95	95
Puddle Of Mudd - Blurry	95	95	100	95
Sout Out Louds - Illusions	95	95	95	95
The Album Leaf - Window	95	99	100	79

Tabela 7 – Chance em % de um arquivo ser falso

Dado os resultados, nos parece que quanto menor o bitrate do arquivo intermediário, maior a chance do programa *Audio Identifier*, dizer uma chance de o arquivo ser fake. Porém, seguindo essa lógica, no caso dos MP3s, surgiram 4 incoerências, Avicii - Wake Me Up, Bee Gees - Words, Marron 5 - Unkiss Me e The Album Leaf - Window. Sem contar algumas músicas que ele nem conseguiu avaliar.

No caso do AAC foi mais coerente, porém diante de tanta aleatoriedade envolvendo músicas tão distintas umas das outras, ficou difícil entender como o programa faz para analisar os arquivos.

## 4. CONCLUSÃO

Conclusão feita em vídeo, disponibilizado no link abaixo:

[https://youtu.be/h3\\_lhbnYm6o](https://youtu.be/h3_lhbnYm6o)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Slides professor Flávio Giraldele – IFES – 2021 – SERRA

<https://en.wikipedia.org/wiki/FLAC>

<https://en.wikipedia.org/wiki/MP3>

[https://pt.qwe.wiki/wiki/Spectral\\_band\\_replication](https://pt.qwe.wiki/wiki/Spectral_band_replication)

[https://pt.qwe.wiki/wiki/Advanced\\_Audio\\_Coding](https://pt.qwe.wiki/wiki/Advanced_Audio_Coding)

[https://pt.qwe.wiki/wiki/High-Efficiency\\_Avanced\\_Audio\\_Coding](https://pt.qwe.wiki/wiki/High-Efficiency_Avanced_Audio_Coding)