

INF 491 - Computação Musical
Ana Clara Guerra Torres - 108205
Yuri Cardoso Bragine - 108199
Projeto Análise Computacional de Similaridade Musical em Casos de Processos Judiciais
por Plágio

Entrega 1 – Melodia e Harmonia

Pacote 1

- A (Melodia)
Adele vs. Toninho Geraes
Radiohead vs. The Hollies
B (Harmonia)
Adele vs. Toninho Geraes
Coldplay vs. Joe Satriani

Técnicas aplicadas à melodia: Foi utilizada a função `librosa.pyin` para extrair o contorno de pitch fundamental (F0) ao longo do tempo. Esse contorno representa a sequência de alturas sonoras mais proeminente no áudio, que pode corresponder a uma melodia vocal, instrumental ou a linha melódica principal de um arranjo. Esse contorno foi suavizado e visualizado como uma curva contínua, permitindo comparar a linha melódica das obras em termos de direção, intervalo e estabilidade. A escolha dessa técnica se justifica por sua robustez na detecção de frequências fundamentais. Além disso, utilizou-se o recurso de cromagramas (`librosa.feature.chroma_cqt`) para representar a distribuição de energia entre as 12 classes de notas ao longo do tempo. Os cromagramas foram transpostos para a tonalidade de Dó maior para padronização, e comprimidos temporalmente para 1000 frames com a função `scipy.signal.resample`. A comparação foi feita usando DTW com coseno, permite medir a similaridade entre sequências temporais, mesmo quando ocorrem variações rítmicas. Essa abordagem foi escolhida por alinhar progressões harmônicas com diferentes durações.

Técnicas aplicadas a harmonia:

A análise harmônica das obras envolveu uma série de etapas para representar e comparar suas estruturas tonais. Inicialmente, foram extraídos cromagramas (via `librosa.feature.chroma_cqt`), que capturam a distribuição de energia entre as 12 classes de notas ao longo do tempo. Para padronizar a comparação, os cromagramas foram transpostos para a tonalidade de Dó maior, permitindo avaliar similaridades harmônicas funcionais independentemente da tonalidade original.

Em seguida, aplicou-se uma estratégia de reconhecimento de acordes utilizando templates binários para acordes maiores e menores. Cada frame do cromagrama transposto foi comparado com esses modelos, resultando em sequências de acordes para ambas as músicas. Apesar da diferença nos nomes dos acordes identificados inicialmente, uma comparação mais profunda foi realizada por meio do Dynamic Time Warping (DTW). Essa técnica, aplicada sobre os templates de acordes, levou em conta variações de andamento e permitiu alinhar harmonicamente as duas obras, mesmo com pequenas discrepâncias locais. Para reduzir o custo computacional, as sequências foram subamostradas.

Complementando essa análise, foram geradas as Matrizes de Auto-Similaridade Harmônica (SSM), que compararam cada instante da música com todos os outros, revelando repetições internas e padrões de homogeneidade harmônica. Por fim, foi construída a Matriz de Similaridade Cruzada (CSM) entre as duas músicas, permitindo uma comparação direta

entre seus cromagramas. A CSM evidenciou pontos de alta similaridade harmônica e caminhos diagonais, indicativos de possíveis correspondências entre progressões harmônicas, mesmo com diferenças de tempo e tonalidade.

Dificuldades: Durante a análise, ao calcular a distância DTW diretamente entre os cromagramas originais (sem normalização), foi observado um valor de 0.0, o que indicaria uma similaridade perfeita; um resultado claramente incorreto e inviável para comparações musicais. Esse problema ocorreu porque os cromagramas brutos tinham magnitudes desbalanceadas devido a diferenças na dinâmica (volume) e na distribuição de energia entre as faixas. Como o DTW com métrica de cosseno mede a similaridade baseada na orientação dos vetores (e não em suas magnitudes), a ausência de normalização fazia com que vetores proporcionalmente idênticos, mas com escalas diferentes, fossem interpretados como idênticos (distância zero). Para corrigir esse comportamento, aplicou-se a normalização L2 (via `librosa.util.normalize`) a cada frame dos cromagramas transpostos.

Limitações:

- **Detecção de Pitch (Melodia com `librosa.pyin`):** O pyin funciona bem na maioria dos casos, mas ele detecta o pitch mais forte no áudio, o que nem sempre é a melodia principal. Ele pode “se confundir” e pegar sons que não representam a melodia que o ouvinte realmente percebe. Além disso, erros como detectar o pitch uma oitava errada ou gerar falhas momentâneas são comuns, especialmente em trechos com pouco volume ou muito ruído. E quando a música nem tem uma melodia clara, o pyin ainda tenta achar algo, o que pode não fazer sentido na comparação.
- **Cromagramas:** Cromagramas mostram a energia das notas, mas ignoram em qual oitava elas estão. Isso pode ser um problema se a oitava for importante pra distinguir entre duas músicas. Além disso, essa representação perde detalhes como inversão de acordes, textura ou arranjo das notas, que fazem bastante diferença na percepção do som.
- **DTW (Alinhamento Temporal):** O DTW ajuda a comparar sequências com andamentos diferentes, mas ainda é sensível a mudanças muito grandes de duração ou seções mal alinhadas. Também é pesado de rodar se a sequência for muito longa (por isso limitamos a 100 e 200 frames). Outro ponto é que o valor de distância DTW não diz diretamente se algo é plágio ou não; precisa de interpretação humana, já que não existe um “valor de corte” claro que defina o que é cópia.

1. Caso 1: Mulheres, de Toninho Geraes e Million Years Ago, de Adele

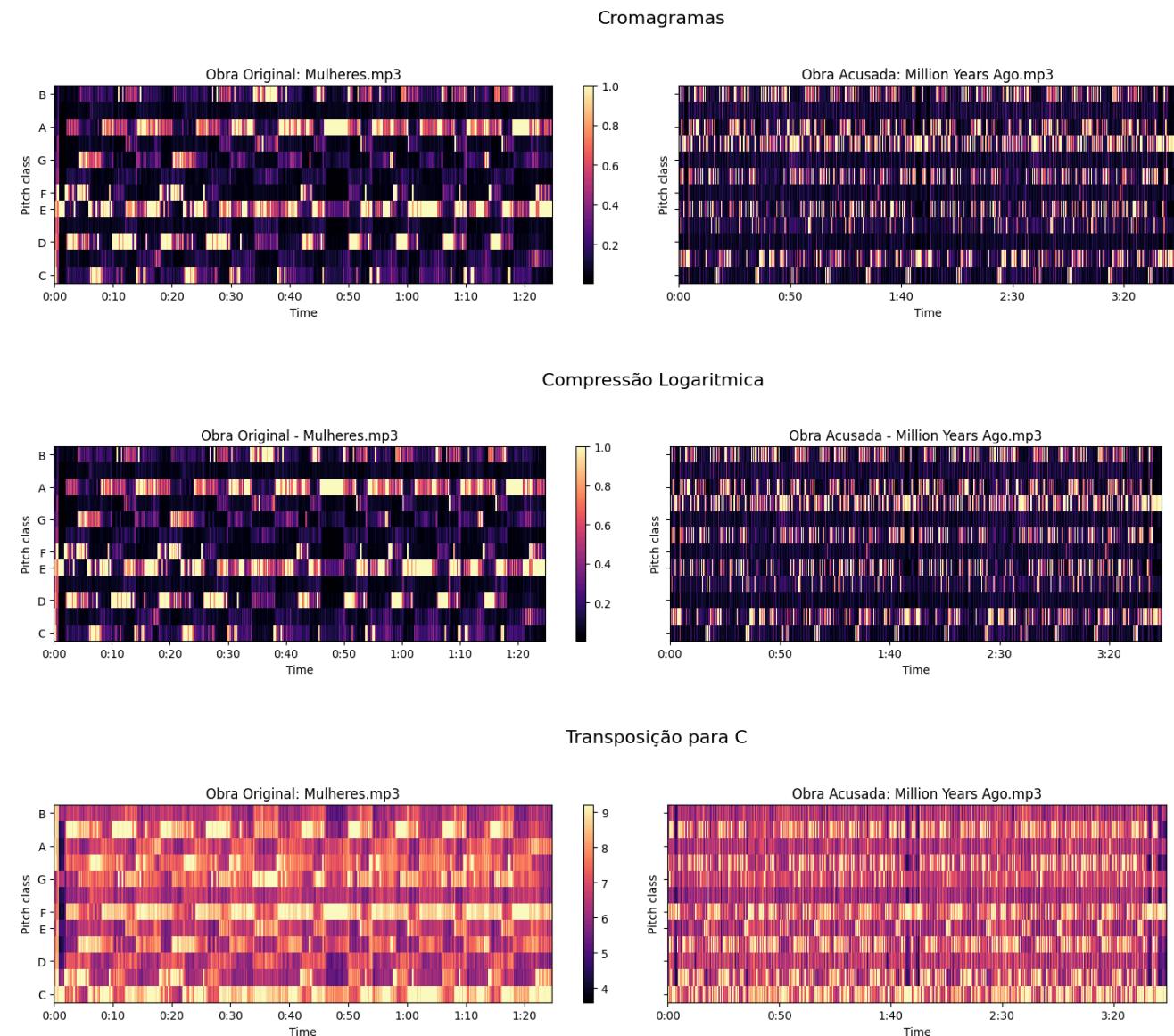
☞ Entrega 1 - Caso1.ipynb

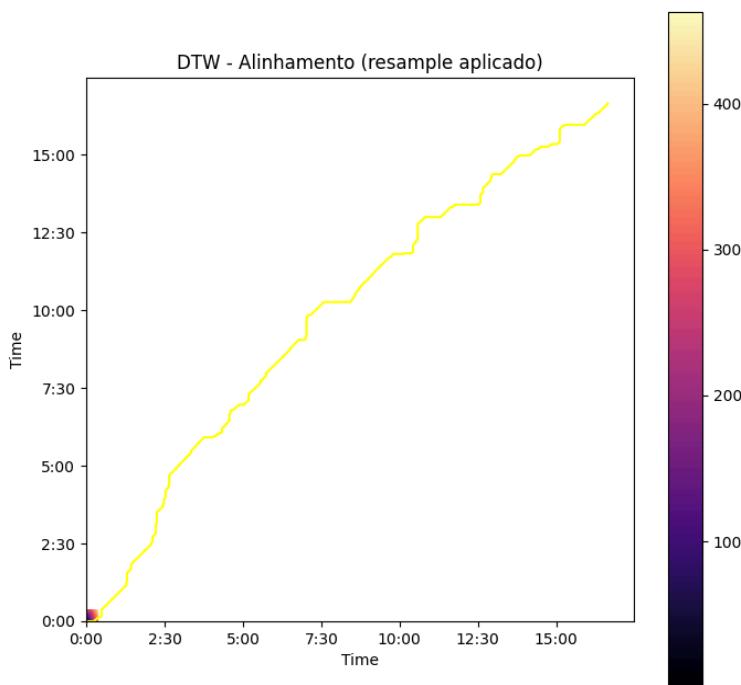
Descrição do Caso: Este caso envolve a acusação de que a cantora britânica Adele teria plagiado a canção Mulheres, de Toninho Geraes (gravada originalmente por Martinho da Vila), em sua faixa Million Years Ago. A alegação se concentra na semelhança melódica da linha vocal principal e na progressão harmônica subjacente. A análise técnica computacional foi aplicada para verificar o grau de sobreposição entre os contornos melódicos e a base harmônica das músicas. Foram analisados trechos iniciais, onde o

motivo melódico de cada obra é exposto de forma clara. O caso teve grande repercussão no Brasil e contou com laudos técnicos de músicos especialistas, como Rafael Bittencourt, guitarrista da banda Angra, atuando como perito. Até o momento da análise, a Justiça brasileira havia decidido favoravelmente a Toninho Geraes nas primeiras instâncias, reforçando a importância de análises técnicas detalhadas como apoio a decisões judiciais.

a. Melodia

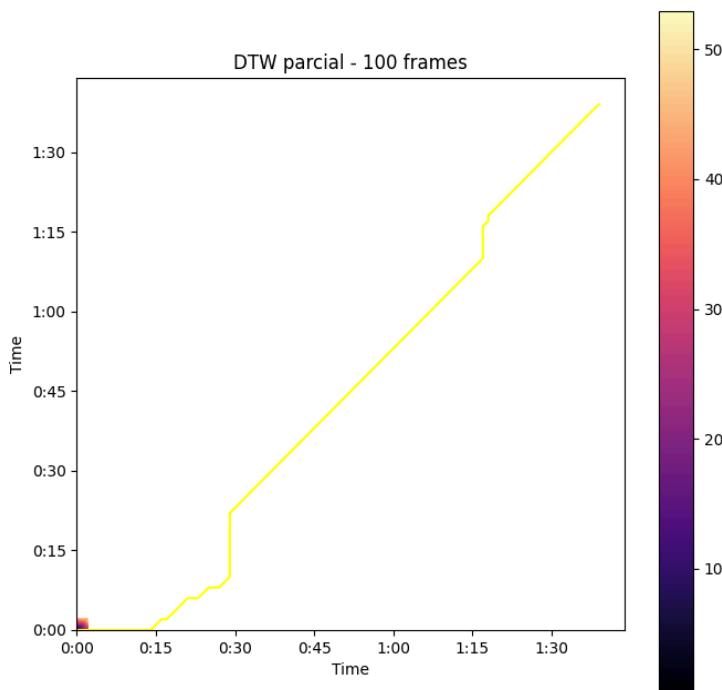
Análises Computacionais:





Distância DTW total: 0.14

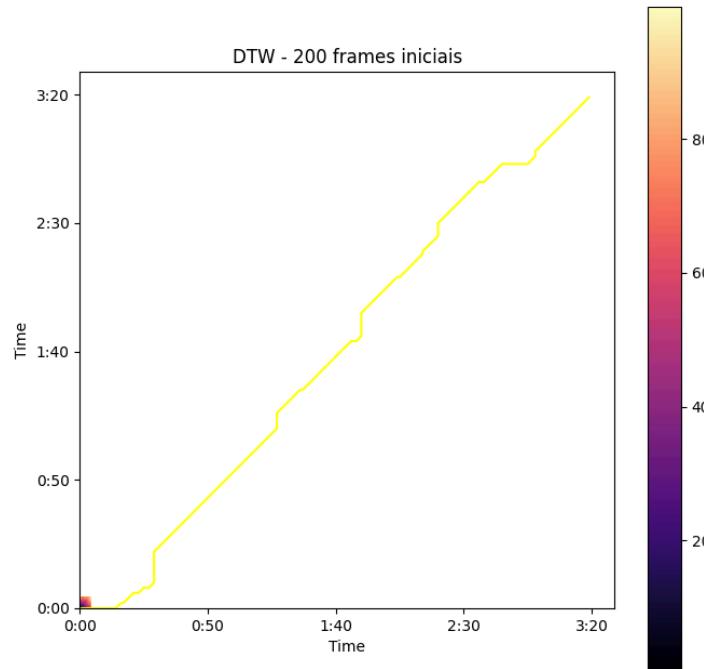
A distância DTW total obtida entre os cromagramas dos trechos analisados foi de 0.14, um valor extremamente baixo, indicando uma alta similaridade entre as duas músicas nesse segmento. Essa análise levou em conta a métrica do cosseno e a compressão temporal para 1000 frames, o que torna a comparação robusta mesmo que existam pequenas variações de andamento. O baixo valor sugere que a sequência de acordes e sua evolução ao longo do tempo são notavelmente compatíveis, reforçando a percepção de que há semelhança estrutural intencional ou inconsciente entre as obras. Isso pode ser interpretado como evidência técnica importante em um contexto de investigação de plágio musical.



Distância DTW média (100 frames): 0.0012

A análise focada nos 100 primeiros frames dos trechos musicais revelou uma distância DTW que indica uma similaridade excepcionalmente alta entre os segmentos iniciais. Esse

valor extremamente baixo sugere que, no início do trecho analisado, as duas músicas compartilham praticamente a mesma estrutura, com uma progressão de acordes altamente coincidente e sem desvios significativos. Esse grau de semelhança logo no início do trecho pode ter um forte impacto na percepção de familiaridade por parte dos ouvintes, servindo como um dos principais fatores que sustentam alegações de plágio.



Distância DTW (200 frames): 0.1422

Ao estender a análise para os 200 primeiros frames, a distância DTW obtida ainda possui valor muito baixo que confirma a continuidade da similaridade entre os trechos analisados. Isso demonstra que a semelhança entre as músicas não se limita apenas ao início, mas persiste por uma extensão maior da progressão harmônica, sugerindo uma compatibilidade estrutural prolongada. Em contextos de análise de plágio, essa consistência ao longo do tempo é particularmente relevante, pois indica que as similaridades não são casuais ou isoladas, mas sim parte de uma sequência melódica coerente e recorrente.

Conclusão

A análise computacional da melodia, baseada em contornos de pitch e cromagramas, indicou similaridade extremamente alta entre os trechos analisados das músicas. Isso foi evidenciado pelas baixíssimas distâncias DTW obtidas:

- Distância DTW total: 0.14
- Distância DTW (100 frames iniciais): 0.0012
- Distância DTW (200 frames): 0.1422

Esses valores indicam uma correspondência estrutural significativa, especialmente no início dos trechos, o que reforça a percepção de familiaridade por parte do ouvinte. A persistência da similaridade ao longo do tempo sugere que não se trata de coincidência pontual, mas sim de uma convergência melódica consistente. Esses resultados corroboram as alegações de plágio e sustentam tecnicamente a decisão judicial favorável ao autor brasileiro.

b. Harmonia

Definição de Templates de Acordes

Primeiros 50 acordes reconhecidos na Obra Original:

['F#min', 'F#min', 'F#maj', 'Amaj', 'Amaj', 'Amaj', 'Amaj', 'Amaj', 'Amin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmin', 'Cmaj', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin', 'Fmin']

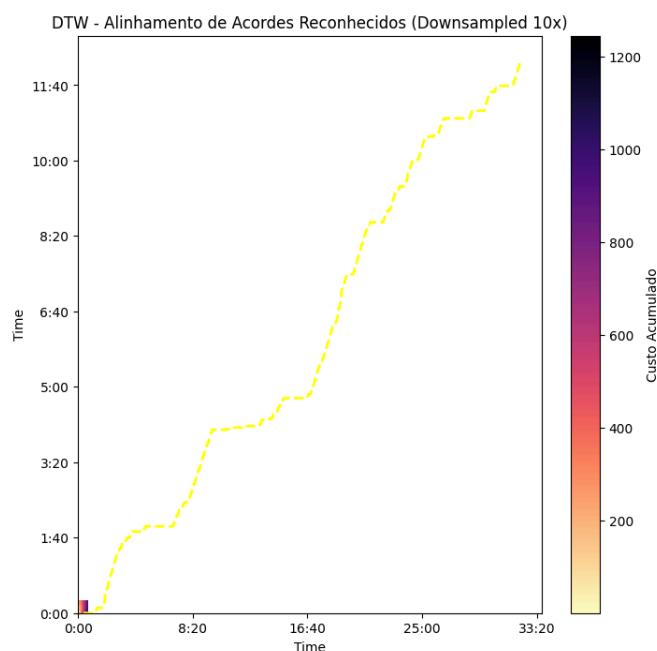
Primeiros acordes reconhecidos na Obra Acusada:

['A#maj', 'A#min', 'A#min', 'C#min', 'C#min']

A análise dos acordes reconhecidos revela que, embora os nomes literais dos acordes predominantes não sejam idênticos entre a Obra Original e a Obra Acusada, isso não invalida uma possível similaridade harmônica. A transposição prévia de ambas as músicas para a tônica Dó já busca alinhar suas estruturas harmônicas para uma comparação funcional, independentemente da tonalidade original.

A similaridade harmônica em casos de plágio reside na semelhança das progressões e do fluxo harmônico, e não na identidade exata de acordes individuais. Os baixos valores da distância DTW calculados a partir dos cromagramas transpostos, juntamente com padrões visuais semelhantes nas Matrizes de Auto-Similaridade (SSM), são indicadores mais fortes de que as "cores" e a organização harmônica entre as obras são, de fato, parecidas.

Similaridade de Progressões Harmônicas (DTW em Acordes Reconhecidos)



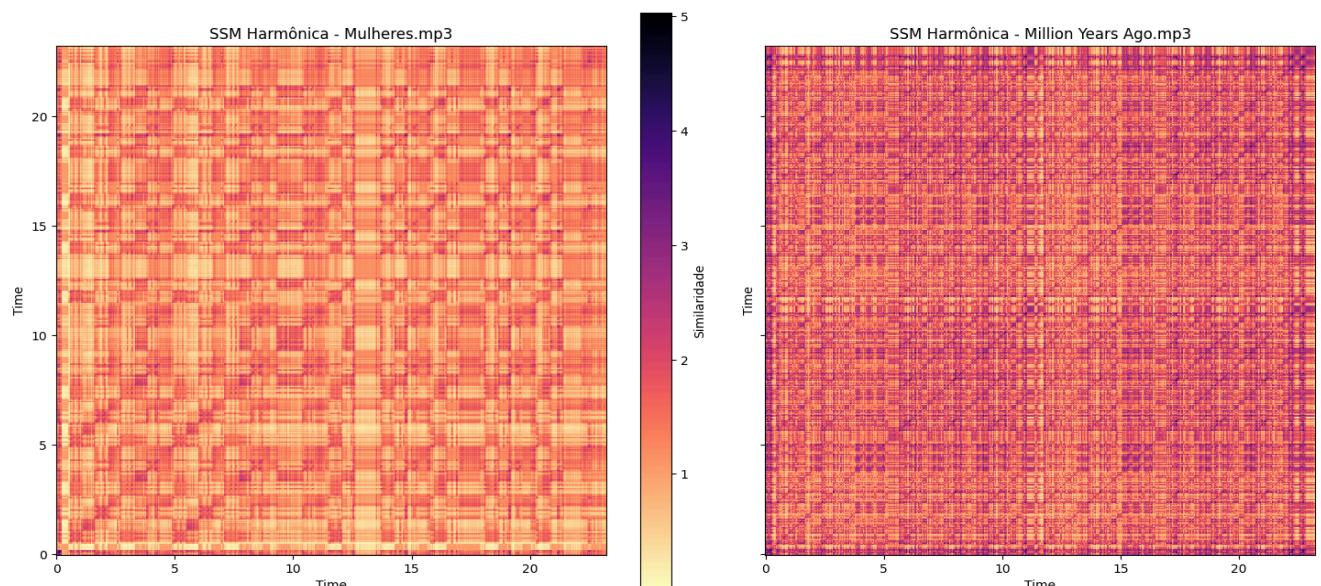
Distância DTW média (Acordes Reconhecidos): 0.0005

Um valor médio de 0.0005 é extremamente baixo. Isso significa que, em média, a distância entre os acordes alinhados nas sequências downsampled da Obra Original e da Obra Acusada é quase zero.

Este resultado é um forte indicador de alta similaridade nas progressões harmônicas entre as duas obras. Ele sugere que, mesmo após o reconhecimento dos acordes e a subamostragem das sequências (que já é uma forma de generalização), as "cores" harmônicas e suas transições estão se alinhando de forma quase perfeita entre "Mulheres" e "Million Years Ago". Este é um argumento substancial na alegação de plágio no aspecto harmônico.

Matrizes de Auto-Similaridade (SSM)

Matrizes de Auto-Similaridade Harmônica

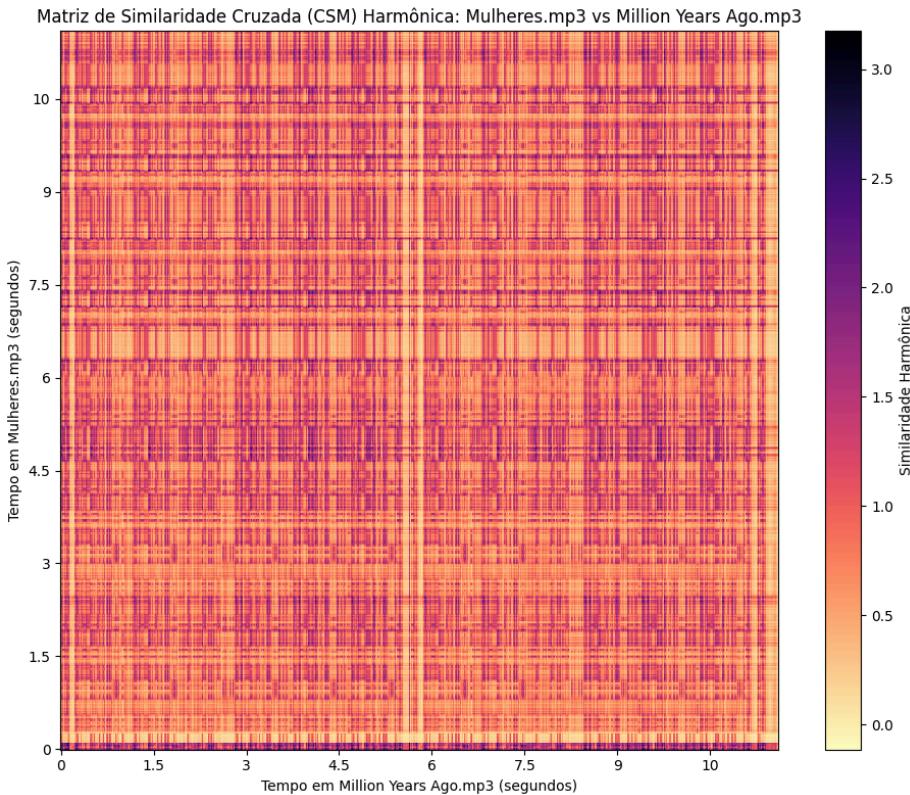


Ao analisar as SSMs das duas músicas é possível observar diferenças significativas em sua organização harmônica. A música Million Years Ago apresenta estruturas diagonais e blocos bem definidos, o que indica a presença de trechos harmonicamente repetitivos ou consistentes ao longo do tempo, como versos e refrões com progressões semelhantes. Em contraste, a SSM de Mulheres mostra uma textura mais fragmentada e difusa, com menos repetições harmônicas evidentes. Esse resultado, porém, não foi inesperado: ele reforça a análise já realizada com o reconhecimento de acordes e com a comparação DTW.

Assim, a SSM visualiza de maneira complementar essas relações: o fato de Million Years Ago apresentar uma SSM mais "organizada" era compatível com o predomínio de um acorde estável (C#min), enquanto Mulheres alterna entre vários centros harmônicos, resultando numa estrutura mais difusa.

Em conjunto com a baixa distância DTW entre os cromagramas transpostos, os padrões semelhantes nas SSMs reforçam a hipótese de que há similaridade funcional na harmonia entre as músicas, independentemente dos nomes literais dos acordes.

Matriz de Similaridade Cruzada (CSM) Harmônica



É possível observar não apenas alguns caminhos diagonais discretos, mas também linhas verticais e horizontais claras ao longo da matriz. Essas linhas evidenciam que certos trechos de uma das músicas possuem harmonia semelhante a vários momentos da outra, o que indica recorrência harmônica cruzada. As linhas verticais claras sugerem que determinadas seções de *Million Years Ago* compartilham progressões harmônicas com diversas partes de *Mulheres*, enquanto as linhas horizontais claras indicam que passagens de *Mulheres* são reutilizadas harmonicamente ao longo de diferentes momentos em *Million Years Ago*. Esses padrões não se limitam a uma única correspondência pontual, mas revelam similaridade harmônica distribuída ao longo da obra, o que reforça a hipótese de reutilização de estrutura ou influência composicional. Tais evidências tornam-se ainda mais relevantes quando consideradas em conjunto com os resultados obtidos pelas análises de DTW, acordes e SSMs.

Conclusão:

Com base nas evidências obtidas, foi identificada uma semelhança harmônica clara e recorrente entre as duas músicas. A CSM revelou múltiplos alinhamentos entre progressões harmônicas das obras, e o DTW indicou baixa distância mesmo após transposição e variação temporal. Como essas progressões não são comuns na música popular e aparecem estruturadas de forma compatível nas duas obras, os resultados apontam fortemente para a reutilização harmônica, sustentando a hipótese de plágio no aspecto harmônico.

2. Caso 4: Creep, de Radiohead e The air that I breathe, de The Hollies

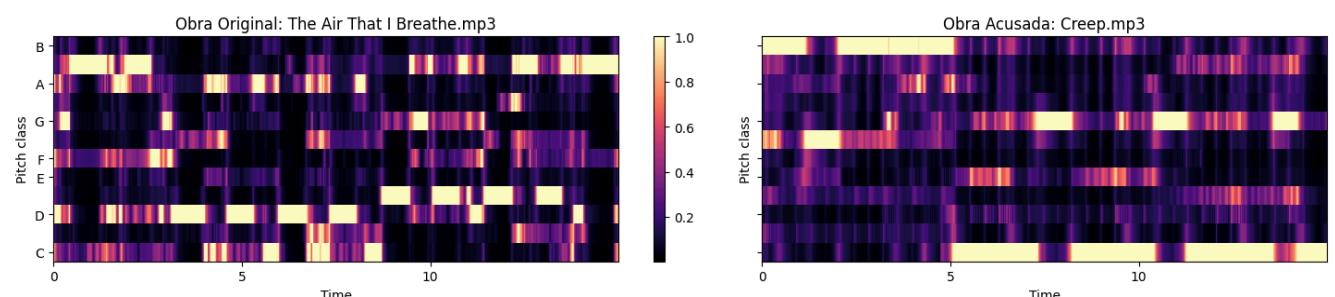
a. Melodia

Entrega 1 - Caso2.ipynb

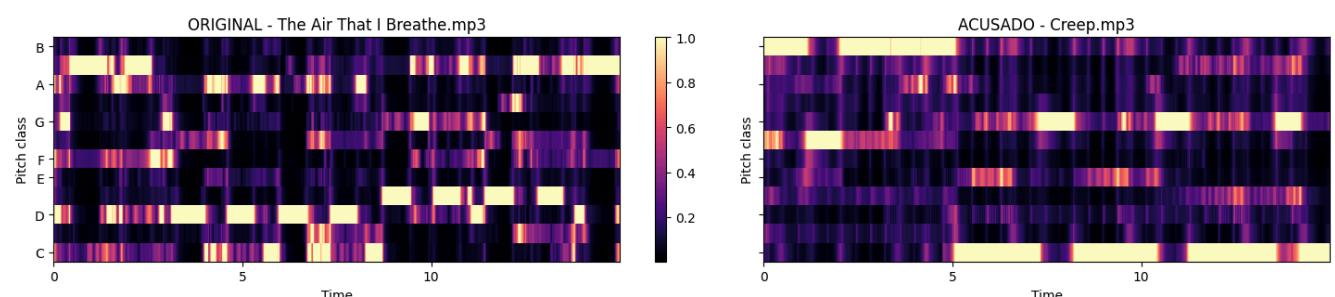
Descrição do Caso: O caso envolve a acusação de que a banda britânica Radiohead teria utilizado trechos melódicos da canção *The Air That I Breathe*, composta por Albert Hammond e Mike Hazlewood e gravada pela banda The Hollies, em sua faixa *Creep*. O foco da alegação recai sobre a ponte para o refrão, um trecho de destaque emocional nas duas músicas, onde a progressão harmônica descendente e a melodia vocal se assemelham de forma marcante. A análise técnica concentrou-se especificamente nesse segmento, recortando os segundos 35 a 50 da obra original e 58 a 73 da obra acusada. A semelhança foi considerada tão significativa que resultou em um acordo extrajudicial, no qual os autores de *The Air That I Breathe* foram oficialmente creditados como coautores de *Creep*.

Análises Computacionais:

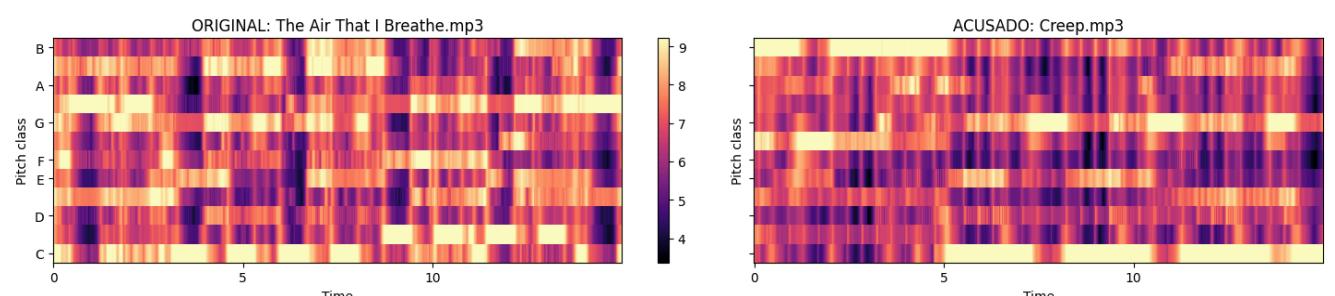
Cromagramas Refrão

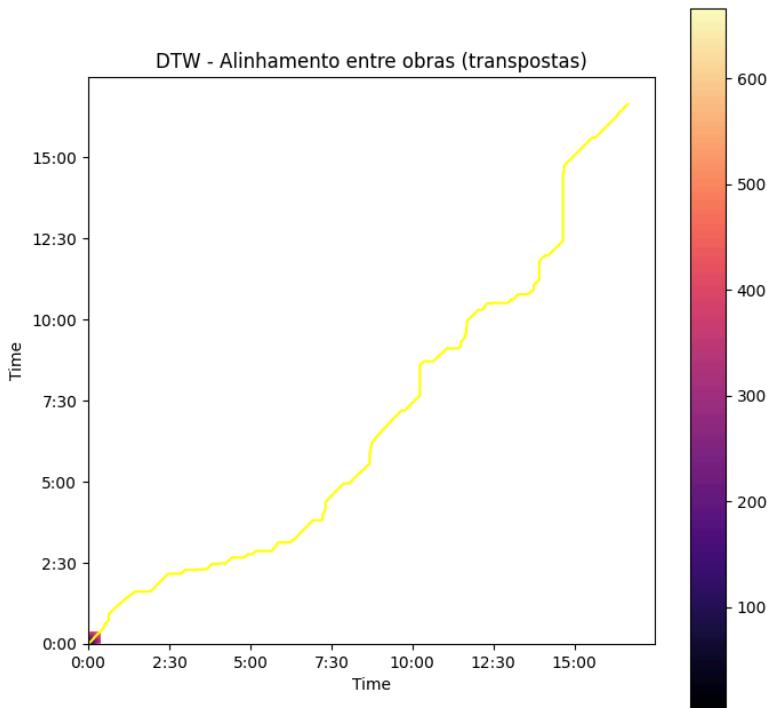


Compressão Logarítmica Refrão



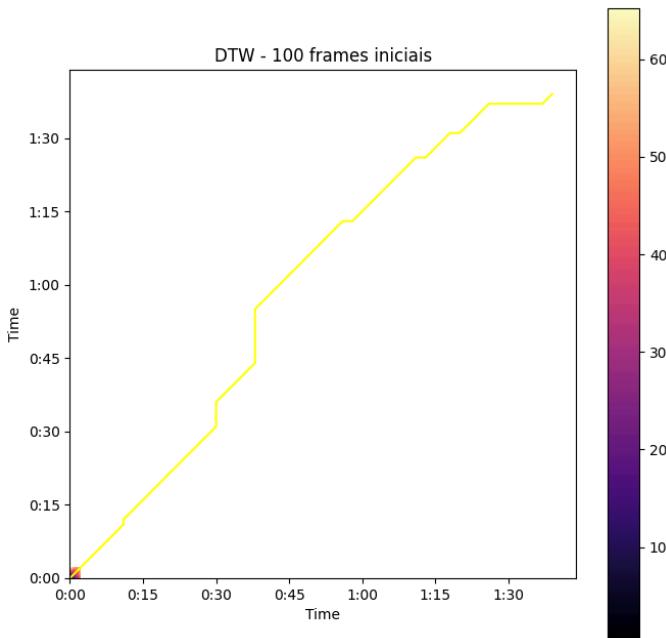
Transposição para C Refrão





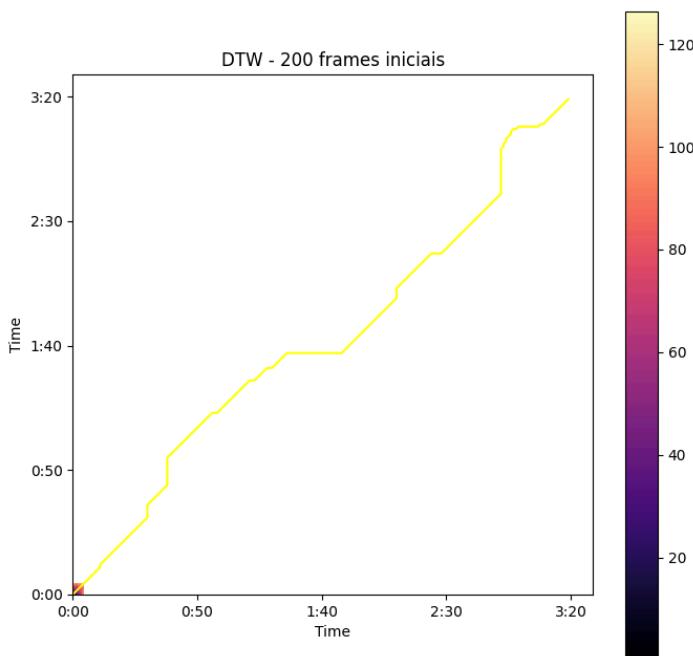
Distância DTW total: 0.50

Esse valor é considerado baixo, indicando que as duas sequências são semelhantes em sua estrutura ao longo do tempo. A análise mostra que, mesmo com pequenas variações locais, a sequência de acordes segue um padrão compatível entre ambas as músicas, reforçando a alegação de similaridade no refrão.



Distância DTW parcial (100 frames): 0.49

A análise restrita aos 100 primeiros frames dos refrões resultou em uma distância DTW mais reduzida, sugerindo que o início dos refrões é especialmente similar em termos de progressão harmônica. Esse trecho inicial costuma ser crucial na percepção de familiaridade musical.



Distância DTW (200 frames): 0.4970

Ao expandir a análise para os 200 primeiros frames do refrão, a distância DTW manteve-se baixa. Isso mostra que a similaridade não está limitada a um ponto específico, mas se estende de forma consistente ao longo de uma porção maior do refrão. Essa persistência de padrões harmônicos semelhantes torna a argumentação de semelhança musical ainda mais robusta, já que não se trata de coincidências pontuais, mas de uma convergência estrutural contínua.

Conclusão

No caso de Creep, a análise se concentrou no refrão, onde há alegações de forte semelhança melódica e harmônica. As distâncias DTW também apontaram para uma alta similaridade:

- Distância DTW total: 0.50
- Distância DTW (100 frames do refrão): 0.497
- Distância DTW (200 frames do refrão): 0.497

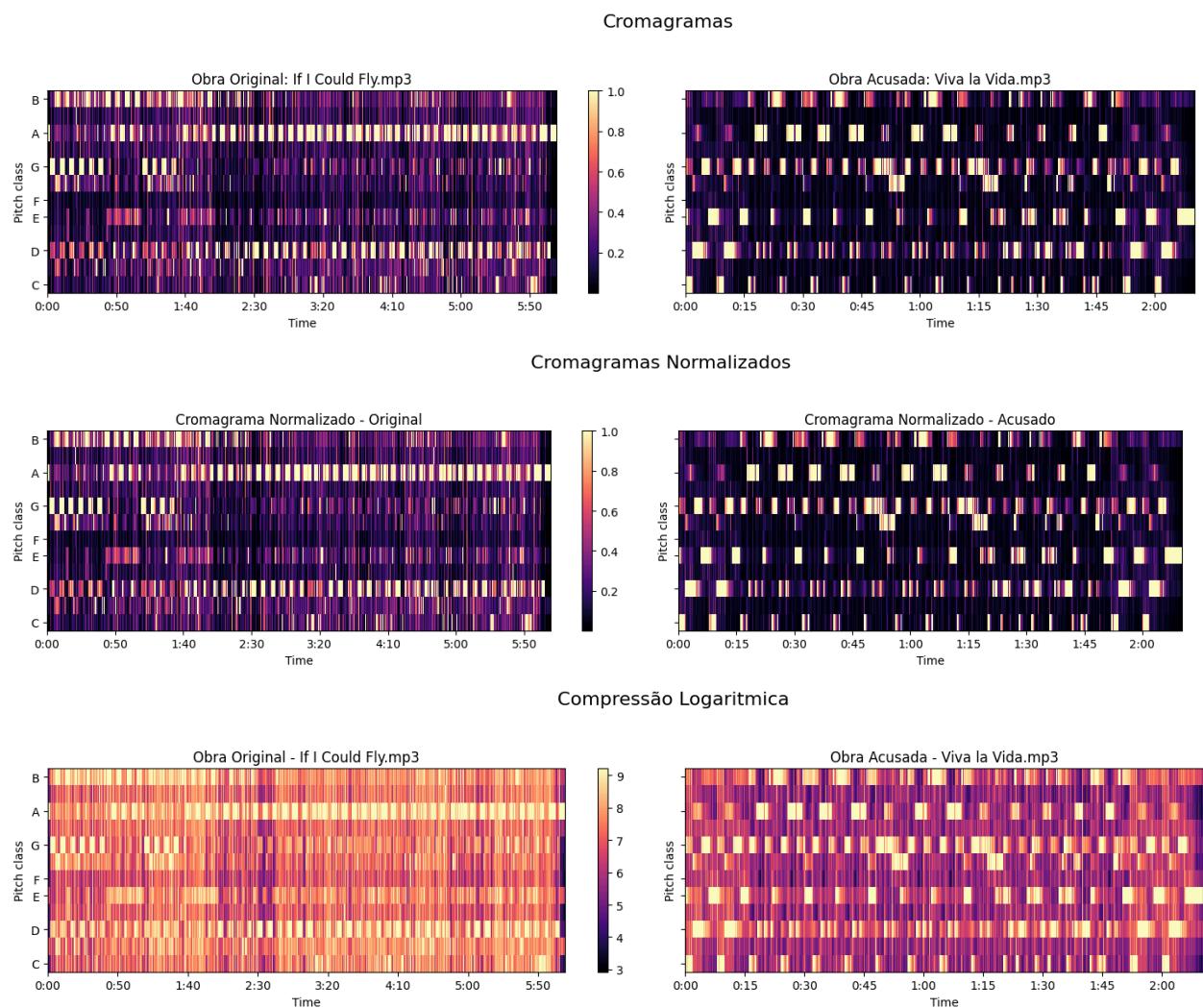
Embora os valores sejam numericamente maiores que os observados no caso Adele e do Toninho, eles ainda são considerados baixos para comparações melódicas complexas, reforçando a alegação de similaridade estrutural. Isso se alinha ao desfecho do caso, em que houve um acordo extrajudicial e o reconhecimento oficial dos autores de The Air That I Breathe como coautores de Creep, evidenciando o impacto da semelhança melódica.

3. Caso 3: If I Could Fly, de Joe Satriani e Viva la Vida, de Coldplay a. Harmonia

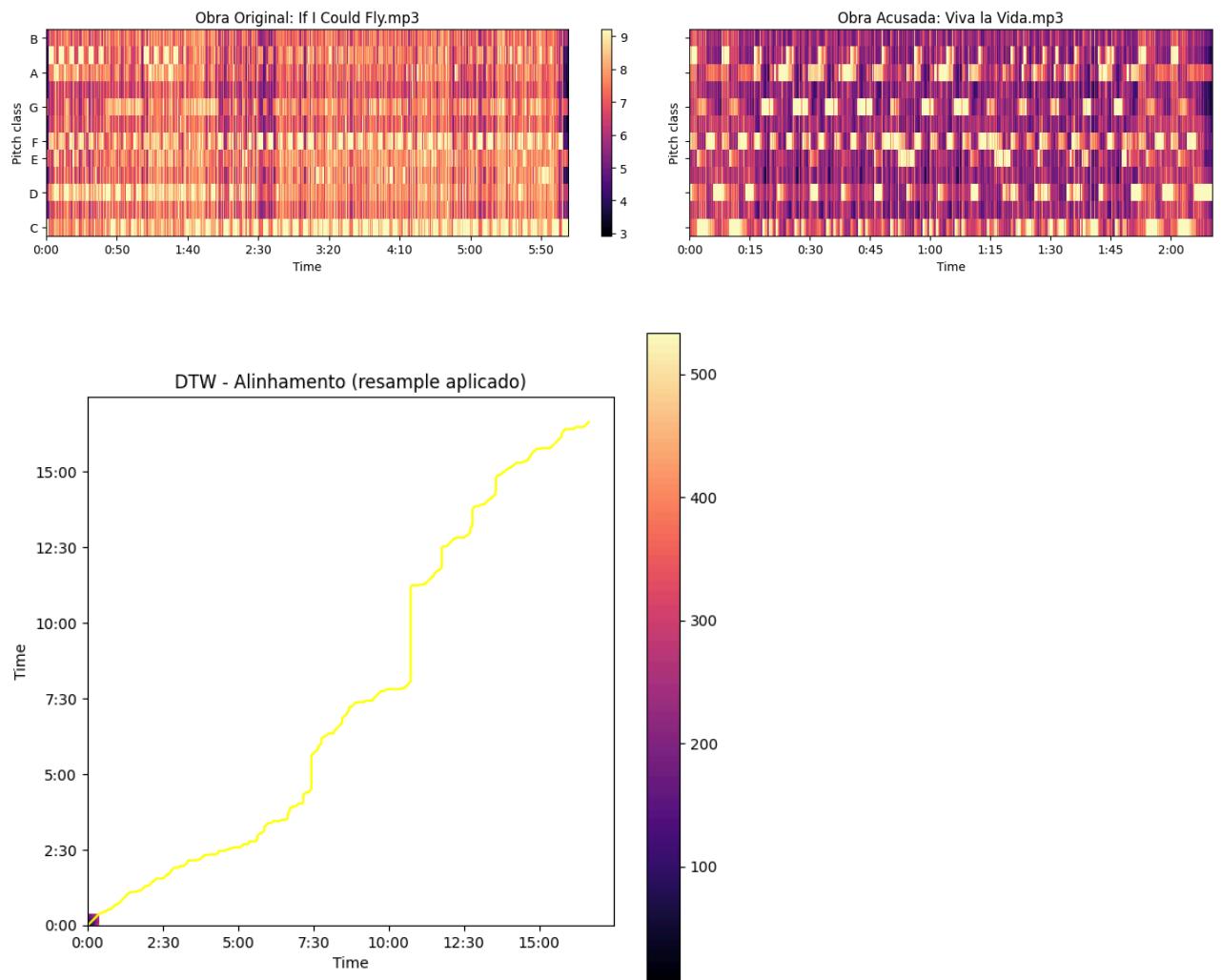
[Caso3_HARMONIA.ipynb](#)

Descrição do Caso: O caso envolve a acusação de plágio musical por parte do guitarrista Joe Satriani contra a banda Coldplay, alegando que a canção *Viva la Vida* utilizava elementos substancialmente semelhantes à sua composição *If I Could Fly*, especialmente na melodia principal do refrão e na progressão harmônica que a sustenta. A semelhança percebida motivou um processo judicial, posteriormente encerrado por meio de acordo extrajudicial. Nesta análise, será investigada a estrutura melódica por meio de cromagramas, curvas de pitch e alinhamento temporal, além da progressão harmônica com base em cromas transpostos, reconhecimento de acordes e medidas de similaridade (SSM, CSM e DTW). Como limitações, destaca-se a ausência de partitura oficial do refrão isolado e possíveis diferenças de instrumentação que afetam a extração automática de características.

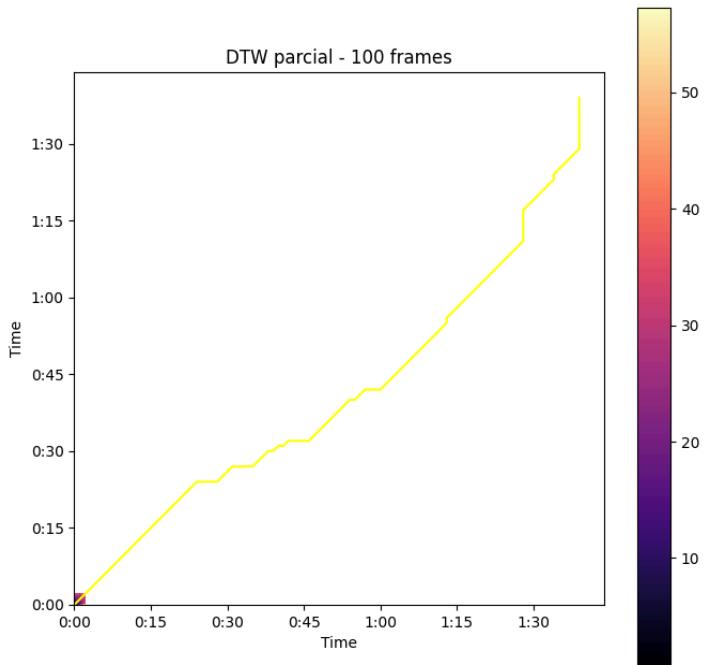
Análises Computacionais



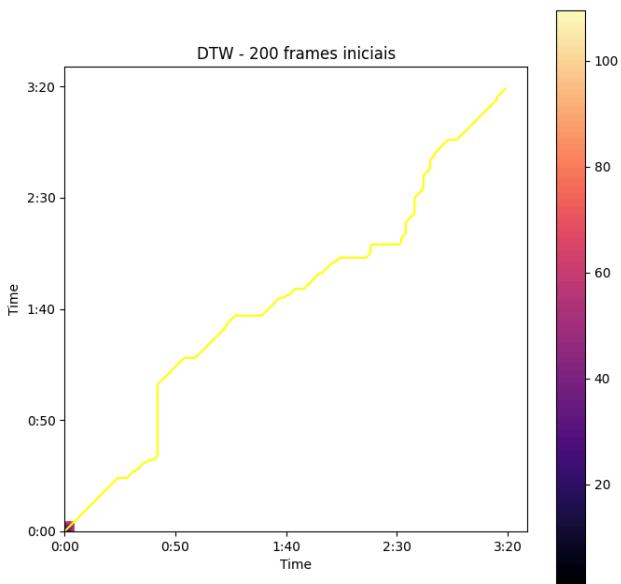
Transposição para C



Distância DTW total: 0.45



Distância DTW média (100 frames): 0.0038



Distância DTW (200 frames): 0.4525

A aplicação do Dynamic Time Warping (DTW) entre os cromagramas transpostos das músicas If I Could Fly e Viva la Vida revelou uma distância total de 0.45, indicando uma alta similaridade harmônica ao longo do trecho analisado. A distância média entre quadros foi de apenas 0.0038 por 100 frames, o que sugere uma correspondência quase ponto a ponto entre as progressões harmônicas, mesmo com possíveis variações de andamento ou ritmo. Ao expandir a janela para 200 frames, a distância manteve-se praticamente inalterada (0.4525), reforçando a robustez da similaridade. Esses valores, extremamente baixos para esse tipo de comparação, apontam para uma compatibilidade estrutural muito forte entre as harmonias das duas músicas, o que sustenta a alegação de reutilização substancial de conteúdo harmônico.

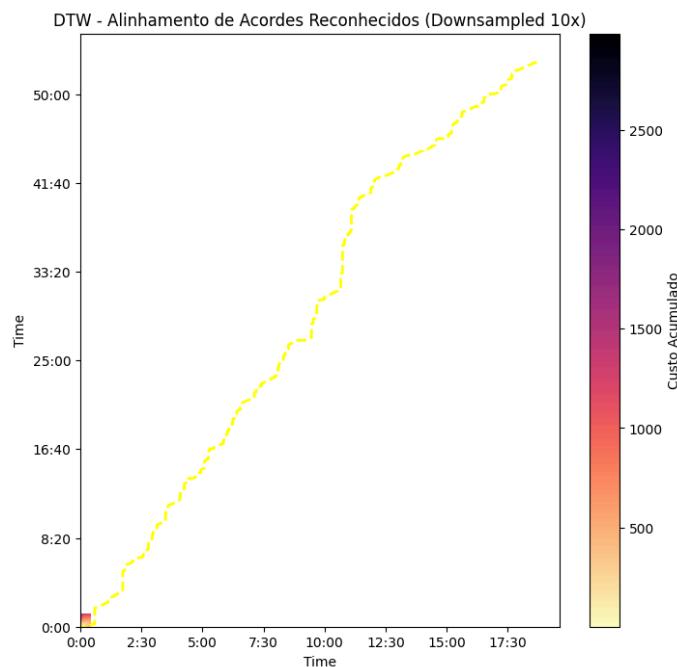
Definição de Templates de Acordes

Primeiros 50 acordes reconhecidos na Obra Original

Primeiros acordes reconhecidos na Obra Acusada:

A análise inicial dos acordes reconhecidos nos trechos das duas músicas mostra padrões bastante distintos nos nomes dos acordes detectados diretamente. Na obra original (*If I Could Fly*), predominam as classes A menor (Amin) e, em seguida, A maior (Amaj), sugerindo uma transição modal ou ambiguidade tonal localizada entre modos menor e maior. Já na obra acusada (*Viva la Vida*), os primeiros acordes reconhecidos incluem G# maior, F menor e uma longa sequência de C maior, indicando uma tonalidade estável com possível centro em Dó. Apesar da diferença nominal dos acordes, essa análise isolada não considera transposição, o que pode mascarar correspondências funcionais entre as progressões. Assim, embora os nomes sejam diferentes, é necessário transpor as músicas para a mesma tonalidade (como foi feito nas etapas seguintes) para avaliar se essas sequências desempenham funções harmônicas equivalentes, o que pode indicar reutilização estrutural.

Similaridade de Progressões Harmônicas (DTW em Acordes Reconhecidos)



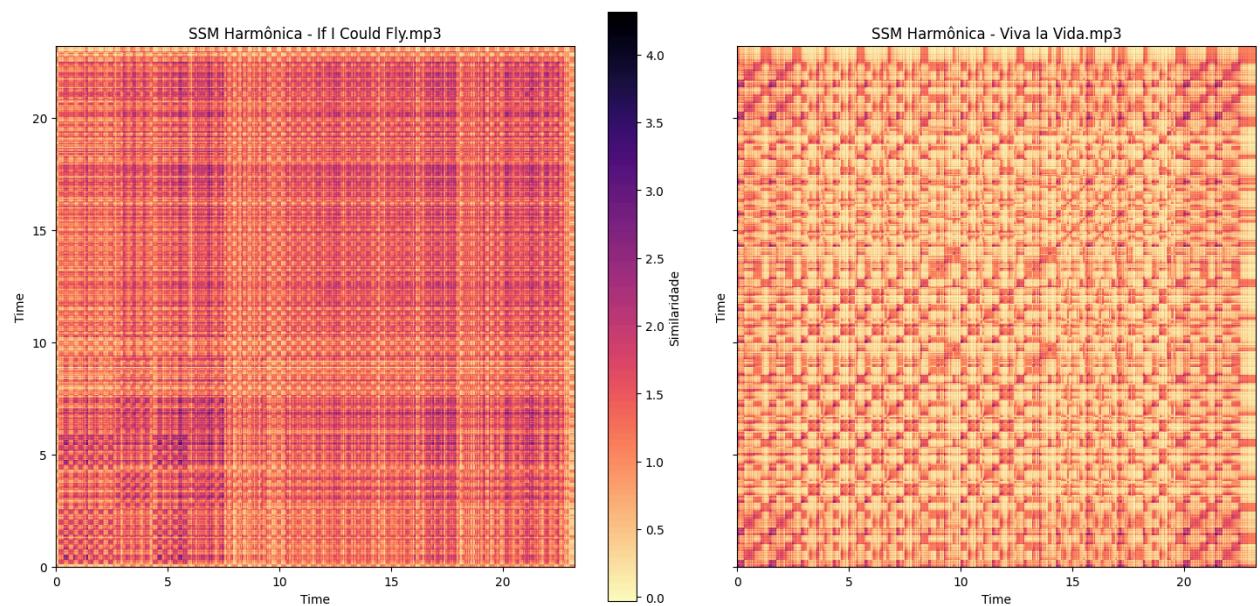
Distância DTW média (Acordes Reconhecidos): 0.0002

A aplicação do DTW diretamente sobre as sequências de acordes reconhecidos, utilizando uma função de distância entre templates de croma, resultou em uma distância média

extremamente baixa: 0.0002. Esse valor indica que, após o alinhamento dinâmico, as progressões harmônicas das duas músicas apresentam correspondência quase exata em termos funcionais, mesmo que os nomes dos acordes reconhecidos inicialmente fossem diferentes. Essa similaridade é especialmente relevante considerando que o cálculo foi feito sobre representações harmônicas já transpostas, eliminando discrepâncias tonais superficiais. Um valor tão próximo de zero sugere que as duas músicas compartilham sequências harmônicas praticamente idênticas, reforçando fortemente a hipótese de reutilização estrutural e a alegação de plágio no aspecto harmônico.

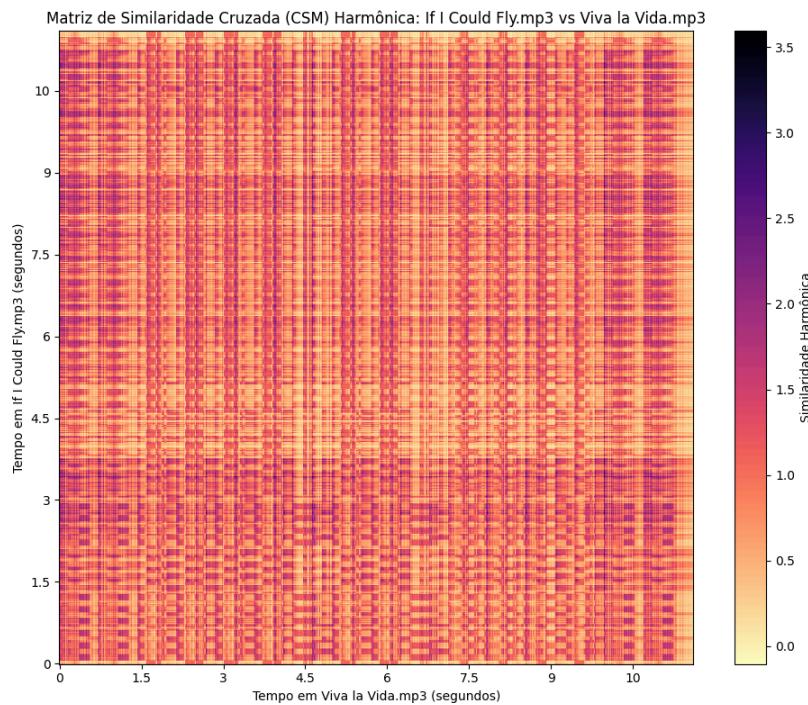
Matrizes de Auto-Similaridade (SSM)

Matrizes de Auto-Similaridade Harmônica



As Matrizes de Auto-Similaridade Harmônica (SSM) das músicas If I Could Fly e Viva la Vida revelam estruturas internas harmônicas consistentes em ambas as obras. A SSM da obra original apresenta blocos e padrões diagonais bem definidos, especialmente na região inicial, indicando seções harmonicamente coesas e repetitivas. Já a SSM de Viva la Vida mostra uma estrutura semelhante, com padrões diagonais e blocos claros ao longo de toda a matriz, sugerindo que a música também se apoia em progressões harmônicas recorrentes. A semelhança na organização estrutural das duas matrizes reforça a compatibilidade entre as estruturas harmônicas das obras, servindo como mais uma evidência visual da reutilização de material harmônico. Esses resultados estão alinhados com as demais análises quantitativas realizadas (DTW e reconhecimento de acordes).

Matriz de Similaridade Cruzada (CSM) Harmônica



A CSM Harmônica fornece uma visualização direta da correspondência harmônica entre as duas composições. Revela um padrão denso de linhas claras — tanto verticais e horizontais quanto diagonais — indicando múltiplos pontos de correspondência harmônica entre os trechos das duas músicas. As linhas diagonais, em particular, sugerem que trechos inteiros das obras possuem progressões harmônicas semelhantes, mesmo que executados em andamentos distintos. A presença de linhas claras concentradas no final do eixo X aponta para uma similaridade harmônica recorrente dos trechos finais da Obra Acusada com diversas partes da Obra Original. De forma complementar, uma faixa densa de correspondências no intervalo aproximado de 3,5 a 5 segundos no eixo Y sugere que esse trecho da Obra Original serve como referência harmônica recorrente na Obra Acusada. A persistência da similaridade no final do eixo Y reforça a reutilização harmônica dos momentos finais da Obra Original ao longo de vários pontos da Obra Acusada. Essa regularidade e concentração de correspondências na CSM corroboram a evidência de semelhança harmônica significativa, sendo consistente com as análises de DTW e dos acordes reconhecidos, e sustentam a alegação de reaproveitamento estrutural harmônico entre as duas músicas.

Conclusão:

A análise detalhada das obras "If I Could Fly" (Original) e "Viva la Vida" (Acusada) revelou fortes indícios de similaridade, particularmente no aspecto harmônico, corroborando a alegação de plágio da progressão harmônica subjacente. A transposição para a tônica Dó e a aplicação de DTW sobre os cromagramas resultaram em baixas distâncias de similaridade, e uma distância DTW média de apenas 0.0002 para os acordes reconhecidos. Embora os primeiros 50 acordes reconhecidos não fossem literais em seus nomes (ex: Original com Amin, Amaj; Acusada com G#maj, Fmin, Cmaj), as Matrizes de Auto-Similaridade Harmônica de ambas as obras exibiram estruturas internas consistentes com repetições e padrões. A Matriz de Similaridade Cruzada Harmônica solidificou esta evidência, mostrando um denso padrão de linhas claras (diagonais, verticais e horizontais), que indica múltiplos e recorrentes pontos de correspondência harmônica direta entre as

duas músicas. Esses resultados quantitativos e visuais, em seu conjunto, sustentam tecnicamente a hipótese de um reaproveitamento estrutural harmônico significativo, justificando o desfecho de acordo extrajudicial no caso.