

Diego Corrêa Peres de Souza

Alterações estruturais no cavalete de um violino e a influência sobre o timbre

Caraguatatuba

2021

DIEGO CORRÊA PERES DE SOUZA

Alterações estruturais no cavalete de um violino e a influência sobre o timbre

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus de Caraguatatuba para obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física. Orientador: Prof. Me. Luiz Fernando Viviani Thomazini

Caraguatatuba

2021

Ministério da Educação

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

S279a Souza, Diego Corrêa de
Alterações estruturais no cavalete de um violino e a
influência sobre o timbre. / Diego Corrêa de Souza. --
Caraguatatuba, 2021.
33 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Luis Fernando Viviani Thomazini.
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) --
Instituto Federal de São Paulo, Caraguatatuba, 2021.

1. Física. 2. Violino. 3. Cavalete. 4. Timbre. 5. Harmônico. I.
Thomazini, Luis Fernando Viviani, orient. II. Instituto Federal de
São Paulo. III. Título.

CDD: 530



Ministério da Educação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Caraguatatuba
DIRETORIA ADJUNTA EDUCACIONAL

OFÍCIO 71/2021 - DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Nome: DE SOUZA, Diego Corrêa Peres

Título: Alterações estruturais no cavalete de um violino e a influência sobre o timbre

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus de Caraguatatuba para obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física.

Aprovado em: 24 de Fevereiro de 2021

Banca Examinadora:

Prof. Ms. Luis Fernando Viviani Thomazini

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Prof. Ms. Jurandi Leão Santos

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Kleucio Cláudio

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Julgamento: Aprovado

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Fernando Viviani Thomazini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/03/2021 13:23:26.
- **Jurandi Leao Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/03/2021 10:07:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/03/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 151163

Código de Autenticação: e28aa4252c



AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Me. Luiz Fernando Viviani Thomazini pela orientação. Pelos ensinamentos e por mostrar os caminhos para se realizar uma pesquisa científica.

Ao Prof. Dr. Ricardo Plaza Teixeira que muito me ensinou e incentivou tanto com suas aulas como em orientações em trabalhos desenvolvidos no âmbito da iniciação científica e extensão.

A todos os professores, servidores, colegas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus de Caraguatatuba.

RESUMO

Este trabalho avaliou as alterações no timbre de um violino devido às modificações estruturais realizadas em seu cavalete. Comparou-se o som produzido entre cavaletes não modificados (CNM) e modificados (CM) a partir da retirada dos “ouvidos” e do “coração” desta peça. Uma pesquisa de percepção sonora averiguou se as pessoas identificam diferenças sonoras entre violinos com CNM ou CM. O espectro de intensidade e frequências das notas musicais produzidas por instrumentos com CNM e CM foi analisado quantitativamente, mostrando existir diferenças significativas no timbre de instrumentos com CM, principalmente na região mais aguda. A pesquisa de percepção sonora corroborou os resultados encontrados na análise quantitativa.

Palavras-chave: Violino. Cavalete. Timbre. Harmônico.

ABSTRACT

This work evaluated changes in the violin's timbre from structural changes in its easel. It compared the sound produced between unmodified (CNM) and modified (CM) easels from the removal of the "ears" and the "heart". A qualitative research investigated whether people identify sonority differences between violins with CNM or CM. Intensity and frequencies spectrum of musical notes produced by violins with CNM and CM was analyzed quantitatively, showing significant differences into timbre of instrument with CM, mainly to higher pitch sounds. The sonority perception research corroborated the results found in quantitative analysis.

Keywords: Violin. bridge. Timbre. Harmonic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Timbre	12
1.2 Cavalete e Timbre do Violino.....	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODO	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	25
APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO	27
APÊNDICE 2 – RESPOSTAS DA QUESTÃO 7.....	28
APÊNDICE 3 – DADOS COLETADOS	30

1. INTRODUÇÃO

A ideia de se fazer a presente pesquisa surgiu a partir da observação do autor deste trabalho. Foi visto nas orquestras em que ele participa que alguns violinistas faziam alterações no cavalete do violino, que serão mais bem detalhadas posteriormente. Esse fato acarretava em uma quebra na homogeneidade do som dos naipes das cordas, pois o músico que adotava essa prática se destoava dos demais violinistas. Desta maneira, se buscará entender como a ciência, de maneira objetiva, pode demonstrar o porquê isso ocorre.

As primeiras discussões sobre as relações entre música e ciência tiveram início com os gregos, mais precisamente com Pitágoras (RODRIGUES, 1999). Estudando um monócórdio (instrumento constituído por uma caixa de madeira com apenas uma corda e ancestral do violino), ele percebeu que ao apertar a corda em determinados pontos, conseqüentemente, “diminuindo” seu tamanho, seria possível obter sons mais agudos, existindo assim uma relação entre o comprimento da corda e o som produzido (WUENSCHÉ, 2006).

Até meados do renascentismo (XIV- XVI), a música era fortemente ligada ao canto e os instrumentos tinham função de acompanhamento (PRADO, 2012). A partir desta época de grandes transformações artísticas e culturais, os instrumentos começaram a ganhar maior importância. As rabecas e as denominadas “vihuelas” passaram a ter uma grande gama de exemplares, variando-se o número de cordas e, até mesmo, o número de cavaletes. Conseqüentemente originaram-se três famílias de instrumentos de cordas muito presentes: violas de Gamba, Liras, e violas de braccio (BRITO; BRITO, 2009).

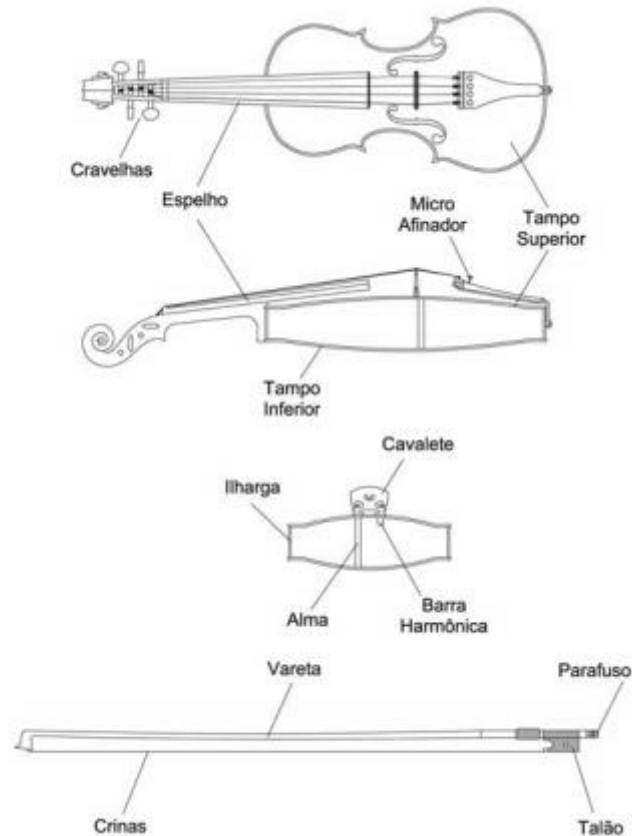
Embora visualmente os violinos se pareçam com as violas de Gamba, eles descenderam, essencialmente, das violas de braccio e das Liras no que concerne à maneira de tocar, sonoridade e timbre. Herdaram características físicas como as cravelhas de afinação vertical, oriunda das violas de braccio e os orifícios de ressonância na “caixa” do instrumento em formato de “f”, oriundos das Liras (PRADO, 2012).

Na Itália, Gasparo Da Salo (1542-1609), Andréa Amati (1505-1578) e Gaspard Duiffoprugcar (1514-1571), a partir das características herdadas, construíram os primeiros violinos, instrumentos de timbre único e poderoso, característica que lhes permitiu difundir-se por toda Europa e, posteriormente, pelo mundo (CASANOVA, 1985).

Muitos compositores dedicaram sua vida ao estudo e produção de obras específicas para violino, tornando-o cada vez mais protagonista na música desenvolvida ao longo dos séculos, o que hoje, juntamente com o restante de sua família (viola e violoncelo), o faz

dominante em apresentações de orquestras, solos e em quartetos (PAULINYI, 2011). A Figura 1 mostra a representação de um violino e suas principais peças.

Figura 1 – Representação dos principais constituintes do violino e do arco



Fonte: DONOSO (2008, p. 1)

Além de compositores e músicos, o violino também virou objeto de interesse da ciência: um dos pioneiros em seu estudo foi o físico francês Félix Savart (1791-1841), notável por seu trabalho junto a Jean-Baptiste Biot (1774-1862) sobre campos magnéticos produzidos por elementos de corrente. Ele usou o método de Ernst F. Chladni (1756-1827) para visualizar os modos de vibração de tampos de violinos, estudou a função do cavalete e da alma, observando que as vibrações do arco sobre as cordas eram ricas em harmônicos (FLETCHER; ROSSING, 2012).

Hermann Von Helmholtz (1821-1894), além de contribuições em áreas como fisiologia, filosofia, mecânica dos fluidos, acústica e divulgação científica, também contribuiu para o estudo científico do violino e, por meio da experimentação, observou o comportamento

das ondas resultantes da vibração decorrente da fricção das cordas às crinas de um arco (VIDEIRA, 2011).

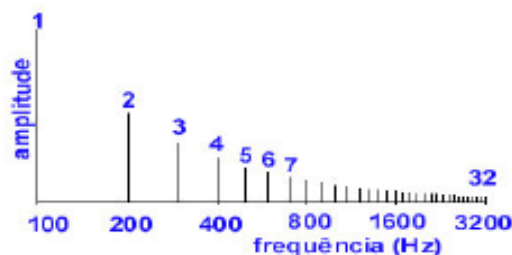
Chandrasekhara V. Raman (1888-1970), ganhador do Prêmio Nobel, em 1930, por seu trabalho sobre espalhamento da luz, estudou as vibrações resultantes de uma corda excitada por um arco. Almejando-se compreender os efeitos da posição e velocidade do arco sobre a corda, verificou que a força mínima necessária para manter um movimento estável dependeria da velocidade do arco e do inverso do quadrado da distância do seu ponto de contato ao cavalete, sendo estes aspectos grandes influenciadores para o timbre do violino (DONOSO, 2008).

1.1 Timbre

O timbre é a característica sonora de cada indivíduo ou instrumento, que identifica quem ou o que está emitindo um som. Quando o som de uma mesma nota vem de um violão, piano ou violino é factível diferenciá-los porque possuem timbres diferentes (DE PAULA, 2000). Porém, essa grandeza física não possui uma unidade de medida, como por exemplo, peso, tamanho ou temperatura.

O timbre é uma composição de várias frequências múltiplas (conhecidas como harmônicos) da Frequência Fundamental (frequência medida em um afinador), com suas respectivas intensidades (DE PAULA, 2000). Um gráfico ideal representando essa composição é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Representação ideal da composição do timbre de um som de 100 Hz. O número 1 representa a Frequência Fundamental, 2, 3, 4...são os harmônicos.

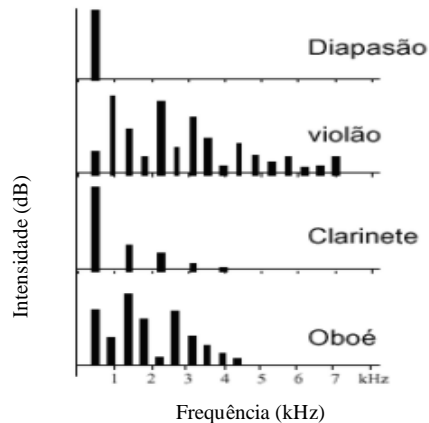


Fonte: Vivenciando...(2013)

A diferença entre as intensidades destes harmônicos e a proximidade deles a múltiplos da Frequência Fundamental são os fatores que fazem com que o timbre se diferencie entre os

instrumentos e indivíduos. Na Figura 3 podem-se observar as diferentes composições destas características para instrumentos distintos tocando a nota lá 440 Hz.

Figura 3 – Gráfico de intensidade por frequência para diferentes instrumentos tocando a nota lá 440 Hz

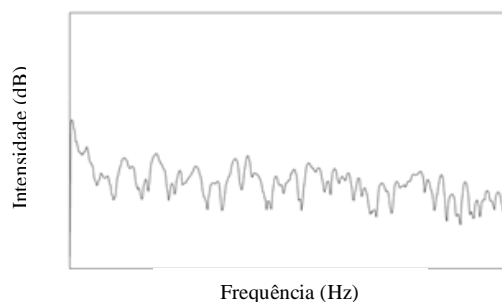


Fonte: DA SILVA TEIXEIRA (2017)

É notório que a distribuição de intensidades dos harmônicos é distinta entre os instrumentos assim como a quantidade deles que são representativos a ponto de serem contabilizados. Enquanto o clarinete tem cerca de 4 harmônicos bem presentes, para o violão é observado cerca de 16 harmônicos e para o oboé, 10 (DA SILVA TEIXEIRA, 2017).

O som oriundo de uma furadeira, chamado de som não musical, não possui harmônicos bem definidos em relação aos múltiplos inteiros da Frequência Fundamental como no som dos instrumentos musicais, podendo incomodar se for escutado após certo período de tempo (SANTOS, 2018; FLETCHER; ROSSING, 2012; DA SILVA TEIXEIRA, 2017). Na Figura 4 pode-se notar como é “distorcida” e pouco harmônica a composição do som emitido por uma furadeira.

Figura 4 – Gráfico de intensidade por frequência para o som emitido por uma furadeira



Fonte: VIVENCIANDO...(2013)

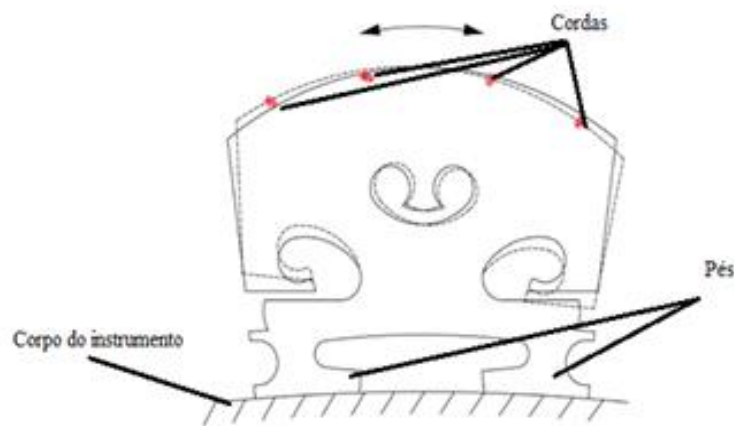
1.2 Cavalete e Timbre do Violino

De acordo com Boutin e Besnainou (2008), o timbre do violino e dos instrumentos de cordas friccionadas depende, geralmente, de três fatores principais: cordas, corpo do instrumento e do cavalete.

O som do violino advém do atrito entre a crina do arco (normalmente de origem animal) e as cordas. Todavia, a vibração das cordas não é eficiente em conseguir transmitir a energia sonora para o ar. Assim, é necessário transferir essa vibração para uma superfície ou um acoplamento acústico que consiga produzir sons com uma maior intensidade. Com isso, o cavalete torna-se essencial para o instrumento (CREMER, 1984).

O cavalete transforma o movimento das cordas, paralelas ao tampo do violino, em forças perpendiculares ao corpo do instrumento, através de seus “pés”. Desta maneira, funcionando como uma espécie de “ponte” entre cordas e violino, tanto é que em alguns países de língua inglesa ele é chamado de “*bridge*” (HACKLINGER, 1978). Na Figura 5 encontra-se uma representação esquemática desse funcionamento.

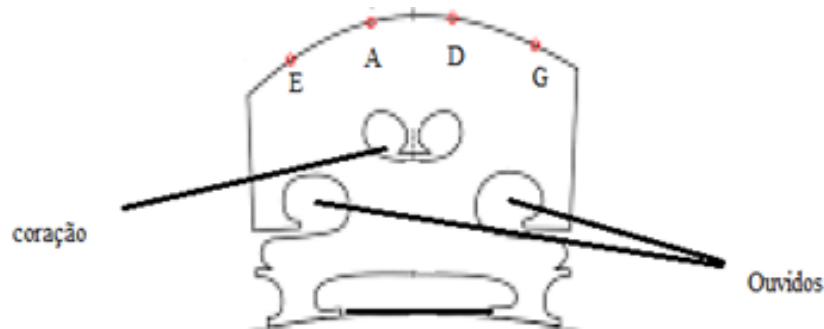
Figura 5 – Representação esquemática de como o cavalete transporta o movimento das cordas para o corpo do instrumento.



Fonte: Adaptado de DONOSO (2008)

Algumas importantes componentes do cavalete recebem nomes de partes do corpo humano, como, por exemplo, os pés, destacados anteriormente. Além desse, destacam-se o “coração”, parte central desta peça e os “ouvidos”, partes laterais. Esses componentes estão indicados na Figura 6.

Figura 6 – Representação esquemática da posição dos ouvidos e coração do cavalete. G, D, A e E, representam as notas das cordas do violino.



Fonte: Adaptado de DONOSO (2008)

Matsutani (2002) visualizou por métodos fotoelásticos as tensões geradas pelas cordas e pela arcada num cavalete de violino. Em seu estudo, foi evidenciado que os ouvidos do cavalete reforçam as frequências correspondentes aos harmônicos da corda Mi, assim como o 2º e 6º harmônico da nota Lá, e o coração, por sua vez, atua sobre o 3º e 6º harmônico também da corda Lá.

Evangelista (2019) comparou diferentes tipos de surdina e seus efeitos sobre o timbre de alguns violinos. As surdinas são peças que possuem uma gama variada de modelos, tanto em tamanho como no material que as compõe. Elas são colocadas em cima do cavalete, desta maneira modificando como este transporta as vibrações das cordas para o violino.

Analisando o espectro de frequência (intensidade x frequência) gerado por diversas notas, Evangelista (2019) evidenciou que o uso de diferentes modelos de surdina acarreta em variações significativas no timbre do violino, sendo importante uma maior padronização no uso destas peças em orquestras e conjuntos musicais em geral.

Como até mesmo o uso desordenado de modelos diferentes de surdinas provoca desequilíbrio sonoro nas orquestras, o presente trabalho se propôs a investigar como modificações estruturais realizadas no cavalete de um violino influenciam sua sonoridade. Portanto, espera-se contribuir para que, a partir deste trabalho: maestros, líderes de orquestras de câmaras e quartetos tenham atenção caso exista algum violinista do conjunto que faça esse tipo de prática.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar o comportamento do timbre de um violino em virtude das alterações realizadas em seu cavalete.

2.2 Objetivos Específicos

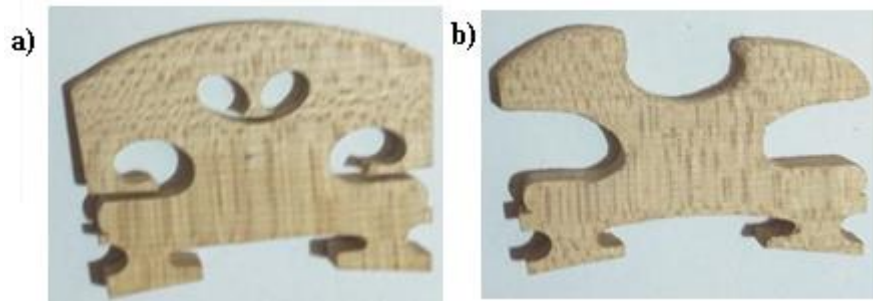
- Comparar o espectro de frequência de diferentes notas entre cavaletes não modificados (CNM) e cavaletes modificados (CM).
- Averiguar o comportamento das intensidades que compõem o espectro de frequências de uma mesma nota para CNM e CM.
- Verificar a percepção sonora de um grupo de pessoas através de áudios gravados com CNM e CM.

3. MATERIAIS E MÉTODO

A primeira parte deste estudo consistiu numa avaliação qualitativa de percepção sonora. Um mesmo trecho de uma linha melódica composta por Lowell Mason, abrangendo regiões agudas e graves do violino, foi tocado de forma semelhante por um mesmo instrumento e músico, mudando apenas os cavaletes.

Na primeira gravação (áudio 01) utilizou-se um cavalete não modificado (CNM) e na outra (áudio 02), um cavalete modificado (CM), devido uma mudança estrutural nos ouvidos e coração desta peça, conforme ilustrado na Figura 7. Foram essas modificações observadas pelo autor do trabalho que alguns violinistas faziam no cavalete do violino.

Figura 7 - (a) Cavalete não modificado (CNM 1) e (b) Cavalete modificado (CM 1)



Fonte: Próprio autor

Os arquivos de áudio 01 e 02 foram disponibilizados via e-mail e grupos de whatsapp juntamente com um formulário eletrônico, que pode ser conferido no apêndice 1. No apêndice 2 estão as respostas referentes a última questão.

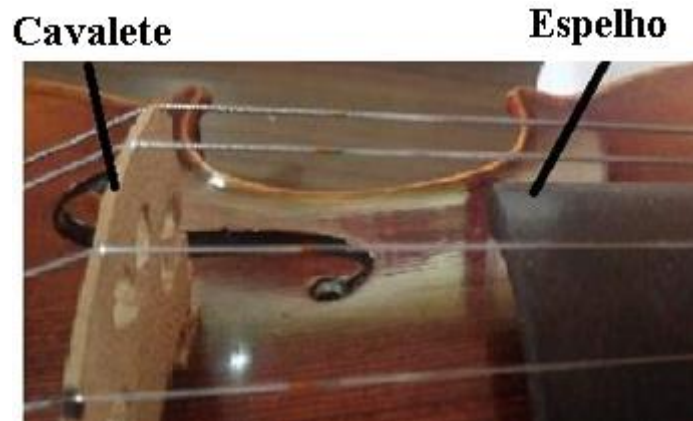
A pesquisa também buscou averiguar quantitativamente de que forma as alterações provocadas nos cavaletes influenciariam no timbre de um violino Eagle modelo VK 544. Por isso, registrou-se o som emitido pelo instrumento ora com CNM, ora com CM.

Os dados foram coletados em um ambiente silencioso entre os dias 10 e 12 de agosto de 2020, sempre das 14: 00h às 16: 00h. A distância e a orientação entre o violino e o captador de áudio modelo headset sony série ouro mantiveram-se inalteradas (~60cm).

Captou-se, com auxílio do software livre Audacity 2.2.2, o som emitido pelas cinco primeiras notas (incluindo a corda solta) de cada uma das quatro cordas do instrumento. Primeiramente, para três CNM idênticos (CNM 1, CNM 2 e CNM 3) e, em seguida, para os mesmos três cavaletes (ambos da marca Teller Germany 3 estrelas) devidamente modificados (CM 1, CM 2 e CM 3). A manutenção das intensidades sonoras (Piano e Forte) e da afinação das cordas foram realizadas, respectivamente, pelo aplicativo de celular KTW (decibelímetro) e pelo afinador eletrônico Waldman Teachers Beat Mm-100mt - Nf.

O ponto de contato entre as cordas e o arco permaneceu inalterado, sendo delimitada com uma caneta uma distância de, aproximadamente, 3,5 cm a partir do cavalete, como pode ser visto na Figura 8. Esse procedimento se fez necessário, já que a posição com que se toca com do arco sobre as cordas também acarreta em variações no timbre.

Figura 8 –Pontos em laranja nas cordas marcam o ponto de contato entre arco e cordas



Fonte: Próprio Autor

Cada nota tocada teve duração de 4 tempos do metrônomo (uma batida por segundo), respeitando também uma pausa de 4 tempos entre gravações consecutivas de notas pertencentes a uma mesma corda e de uma mesma dinâmica. Ressalta-se que o som oriundo do metrônomo foi captado com auxílio de um fone de ouvido, evitando sua interferência na captação de áudio das notas musicais do violino.

Organizaram-se os dados em diretórios identificados por CNM e CM. Dentro do diretório CNM estavam contidos outros três referentes aos cavaletes CNM 1, CNM 2 e CNM 3, enquanto ao que continha CM estavam também outros três referentes aos cavaletes CM 1, CM 2 e CM 3. Nestes, por sua vez, os arquivos de áudio foram identificados pelas cordas 1, 2, 3 e 4 (da mais grave para a mais aguda). Na tabela 1, encontram-se as notas que foram gravadas e repetidas em todos os cavaletes. Cada nota foi tocada duas vezes: primeiro com dinâmica Piano (75 ± 5 dB) e depois com dinâmica Forte (105 ± 5 dB).

Tabela 1 – Notas que foram gravadas

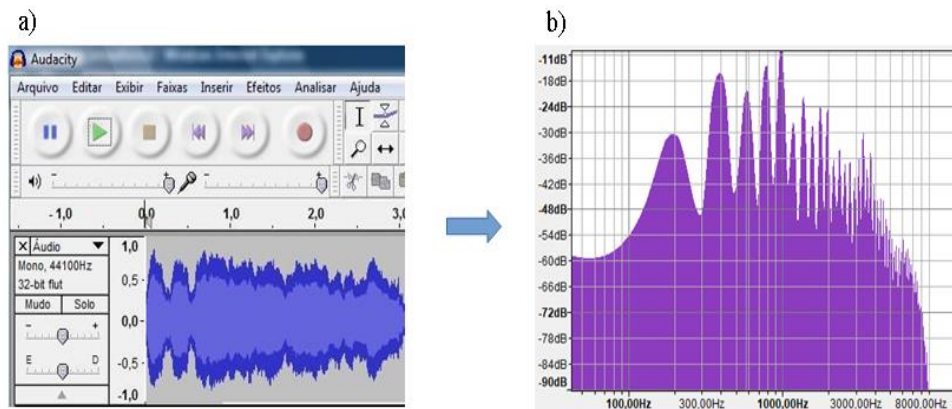
Corda1	Fre. (Hz)	Corda2	Fre. (Hz)	Corda3	Fre. (Hz)	Corda4	Fre. (Hz)
Sol	196	Ré	294	Lá	440	Mi	660
Lá	220	Mi	330	Si	494	Fá#	740
Si	247	Fá#	370	Dó#	554	Sol#	830
Dó	261	Sol	392	Ré	588	Lá	880
Ré	294	Lá	440	Mi	660	Si	988

Fonte: Próprio autor

Utilizando o comando Analysis → Spectrum do Audacity, que aplica sobre uma onda sonora a transformada de Fourier, os arquivos de áudio, que, originalmente, continham dados

de intensidade sonora (dB) versus Tempo (s), foram convertidos em arquivos de intensidade sonora (dB) versus frequência, conforme ilustrado pela Figura 9.

Figura 9 – Exemplo da transformada de Fourier aplicada em uma das notas gravadas. a) – Onda sonora no domínio do tempo. b) – Onda sonora no domínio da frequência após aplicação da transformada de Fourier



Fonte: Próprio autor

Com isso, foi possível identificar a intensidade e a frequência da Frequência Fundamental e dos harmônicos das notas gravadas. Sendo assim, eles foram organizados em planilhas eletrônicas no Excel, sendo registrados, a Frequência Fundamental e os dois primeiros harmônicos de cada uma das notas. Estes dados estão disponibilizados no Apêndice 3.

Todas as gravações realizadas procuraram evitar ao máximo as fontes de variabilidade externas (uso de diferentes: arcos, cordas, pontos de contato, e manter a mesma pressão da arcada, etc.). Desta maneira, fatores que poderiam acarretar variações timbrísticas não decorrentes das alterações nos cavaletes foram amenizados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à pesquisa realizada para averiguar a sensação das pessoas ao ouvir os áudios 01 (com CNM) e 02 (com CM), 37 pessoas responderam ao questionário disponibilizado. Dentre essas, 59,5% eram músicos e 40,5 % não eram, sendo que dentre os músicos, 37,8% tocavam algum instrumento de corda friccionada (violino, viola e violoncello).

A maioria dos entrevistados, 83,8%, apontou ser possível perceber diferenças no som dos dois áudios, 13,5% disseram que talvez percebessem algo e somente uma pessoa disse não perceber nenhuma diferença.

A pesquisa revelou que, majoritariamente, aqueles que identificam alguma divergência entre os áudios, consideraram que o áudio com CM (áudio 02) ficou mais “estridente,” ou “áspero” em relação ao áudio com CNM (áudio 01) e 75,7% disseram preferir o áudio 01.

A maior parte das respostas sobre o motivo pelo qual escolheram o áudio 01 como sendo o de preferência para ser escutado, fizeram uma relação com “suavidade” ou um som mais “doce” e menos “estridente” que o áudio 02. Algumas respostas interessantes foram: “*A execução está mais limpa*”; “*A segunda parece ter umas ‘sujeiras’ na execução*”; “*o primeiro áudio transpareceu mais suavidade*”; “*O som do áudio 01 apresentou uma melodia mais suave, principalmente quando começa a parte mais aguda*”. Essa última resposta está relacionada ao trecho da música em que mais se identifica divergências entre os timbres: 65,7% dos entrevistados disseram que a maior diferença se encontrava onde a execução possuía notas mais agudas.

Os dados gravados com audacity 2.2.2 tinham como objetivo demonstrar de maneira quantitativa a percepção que os entrevistados tiveram ao escutar os dois áudios. Desta maneira, buscou-se analisar as Frequências Fundamentais, bem como os dois primeiros harmônicos de cada nota e suas respectivas intensidades.

No intuito de verificar se os dados coletados entre os CNM e CM poderiam ser tratados pela média, averiguou-se o desvio padrão percentual (DP%) das Frequências Fundamentais (FF) e dos dois primeiros harmônicos (H1 e H2) no conjunto de todas as notas tocadas separadas entre os grupos de cavaletes (CNM e CM). Verificou-se que para os três

CNM, a média do DP% foi inferior a 1% tanto para FF quanto para H1 e H2, seja na dinâmica piano (P) ou forte (F).

Com relação às frequências dos CM, para FF a média do DP% também foi inferior a 1%. Entretanto, para H1 e H2, observa-se um elevado DP% em comparação com os CNM, ultrapassando 10% para H2 das notas na dinâmica F. Na Tabela 2, observa-se a média dos DP% para todas FF, H1 e H2 dos CM e CNM.

Tabela 2 - Média do desvio padrão percentual (DP%) de FF, H1 e H2 para CNM e CM

DP%	Cavaletes Não modificados (CNM)		Cavaletes modificados (CM)	
	Piano (P)	Forte (F)	Piano (P)	Forte (F)
FF	0,49	0,68	0,57	0,50
H1	0,44	0,47	6,87	8,05
H2	0,44	0,37	9,75	10,45

Fonte: Próprio autor

É observado que o desvio padrão médio para H1 e H2 dos CM destoa dos demais dados apresentados, seja na dinâmica F ou P. Isso significa que entre os CM existe maior variabilidade, ou seja, a modificação dos cavaletes, mesmo com rigor que os tornem aparentemente semelhantes, acarreta diferenças significativas ao som produzido entre eles. Já para os CNM os valores dos harmônicos permanecem muito próximos, por isso o DP% é consideravelmente menor que nos CM.

Fazendo a mesma análise com relação às intensidades I1, I2 e I3 das FF (I1), H1 (I2) e H2 (I3) não foi possível se obter resultados satisfatórios. Tanto CNM quanto CM apresentaram DP% superiores a 10% em quase metade das notas, seja na dinâmica F ou P. Isso inviabiliza a obtenção de uma intensidade média para CNM e CM, sendo necessário outro tipo de análise para estudar as intensidades produzidas pelas notas gravadas.

O fato das intensidades possuírem tal variação decorre da dificuldade humana em conseguir manter com precisão a pressão, a velocidade e o ponto de contato entre arco e corda, fatores que provavelmente influenciaram para que não houvesse um DP% sem grandes variações como na análise realizada para as frequências dos CNM.

Essa variação nas intensidades entre harmônicos das notas dos 3 cavaletes estando eles modificados ou não, também pode indicar que mesmo cavaletes de mesma marca, ao se tocar com cavaletes distintos, o timbre do violino se modifica e por isso as intensidades não permanecem próximas entre uma mesma nota tocada com cavaletes diferentes.

Focando a análise do trabalho com relação às frequências dos harmônicos, visto que sons onde eles se aproximam de múltiplos inteiros da Frequência Fundamental são, geralmente, mais agradáveis de serem escutados, construiu-se a Tabela 3 que apresenta a média das notas na relação H1/FF e H2/FF para os CNM e CM.

Tabela 3 - Média entre as relações H1/FF e H2/FF para CNM e CM

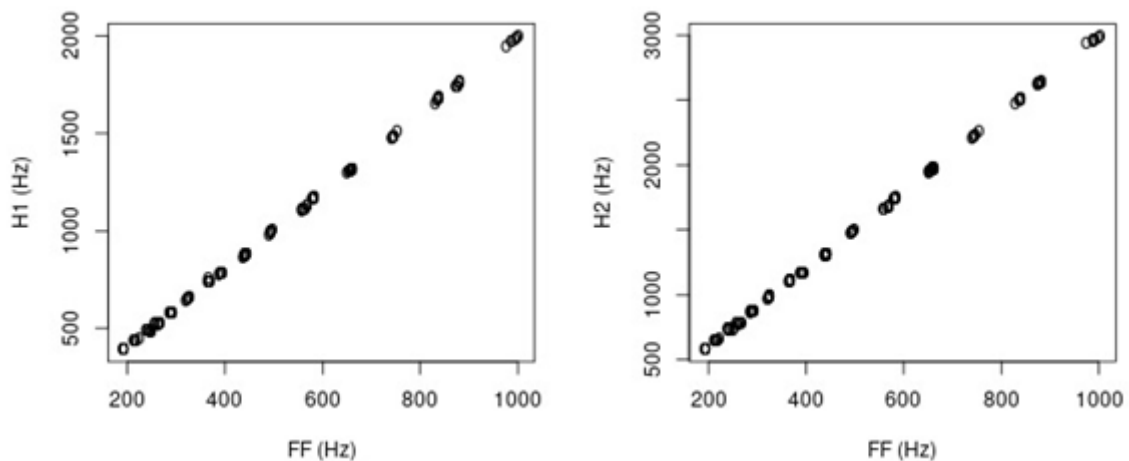
	Cavaletes Não modificados (CNM)		Cavaletes modificados (CM)	
	Piano (P)	Forte (F)	Piano (P)	Forte (F)
H1/FF	2,00 ± 0,01	2,00 ± 0,02	1,77 ± 0,21	1,69 ± 0,13
H2/FF	2,99 ± 0,07	2,99 ± 0,03	2,49 ± 0,30	2,32 ± 0,23

Fonte: Próprio autor (2021)

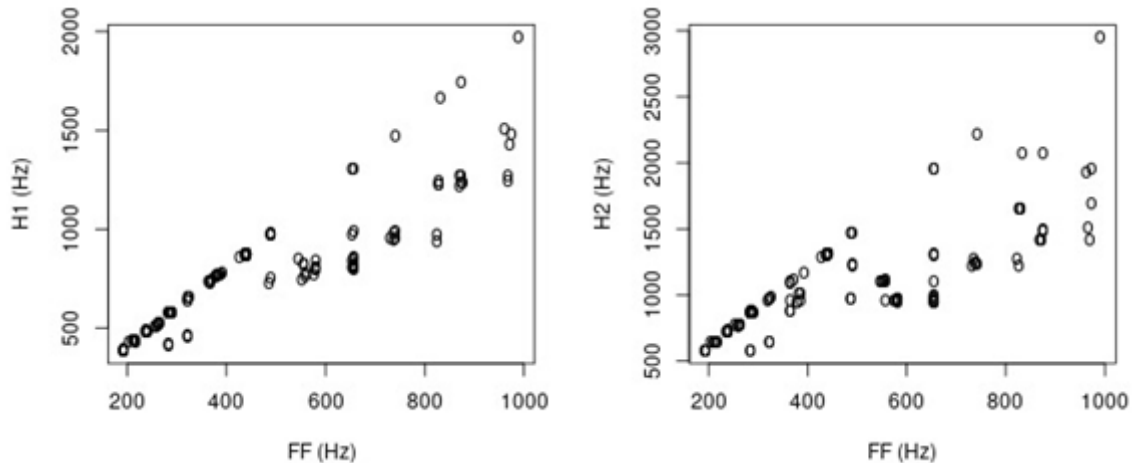
Observa-se que para os CNM, H1 e H2 aproximam-se de múltiplos inteiros da FF (H1/FF ~ 2 e H2/FF ~ 3) em ambas as dinâmicas (F e P). Para os CM os valores são inferiores, acentuadamente na dinâmica forte. Esse fato corrobora com a escolha dos entrevistados na pesquisa qualitativa, que em maioria opto pelo áudio 01 (tocado com CNM) como o “melhor” a ser escutado.

Nas Figuras 10 e 11 estão representadas as relações, por meio de gráficos, entre H1 e FF e entre H2 e FF para cada uma das notas do CNM 1 e do CM 1, respectivamente. Esses gráficos foram elaborados a partir dos dados das Tabelas 5 e 8, encontradas no Apêndice 3.

Figura 10 – Relação entre H1 e FF e H2 e FF para as notas do CNM 1



Fonte: Próprio autor

Figura 11 - Relação entre H1 e FF e H2 e FF para as notas do CM 1

Fonte: Próprio autor

O comportamento linear mostrado na Figura 10 evidencia que a relação entre H1/FF e H2/FF é bem definida para os CNM. O mesmo não ocorre para os CM, principalmente para as notas mais agudas, uma vez que quanto maior a frequência, menos próximo a um comportamento linear está o conjunto de dados. Isso condiz com a pesquisa qualitativa, em que a maioria das pessoas encontrou diferenças mais significativas na região mais aguda dos áudios disponibilizados. Os gráficos gerados pelas notas dos outros cavaletes possuem comportamento semelhante.

Os pressupostos teóricos indicam que o coração e ouvidos do cavalete atuam sobre os harmônicos nas cordas Lá e Mi do violino. Ao retirá-los, frequências distantes dos múltiplos inteiros das FF aparecem, em maior parte, nas notas destas cordas. A Tabela 4 apresenta as médias da relação entre H1/FF e H2/FF para CNM e CM, separando-se as notas do violino em graves (de 193 Hz a 440 Hz) e agudas (440 Hz em diante), em que se encontram as cordas Lá e Mi.

Tabela 4 - Relação das Médias da divisão das FF pelos H1 e H2 com as notas mais graves e agudas.

	Cavaletes Não modificados (CNM)		Cavaletes modificados (CM)	
	Piano (P)	Forte (F)	Piano (P)	Forte (F)
FF/H1 (notas graves)	2,01 ± 0,02	2,01 ± 0,01	2,01 ± 0,11	1,95 ± 0,16
FF/H1 (notas agudas)	1,99 ± 0,01	1,99 ± 0,03	1,52 ± 0,24	1,43 ± 0,21
FF/H2 (notas graves)	3,01 ± 0,01	2,99 ± 0,02	2,96 ± 0,09	2,79 ± 0,08
FF/H2 (notas agudas)	3,01 ± 0,02	2,99 ± 0,01	1,54 ± 0,22	1,85 ± 0,22

Fonte: Próprio autor (2021)

Nota-se que para os CM, as notas nas regiões mais agudas sofreram mais distorções em seus harmônicos em comparação às mais graves. As diferenças encontradas em ambos os cavaletes para a região grave é menos significativa, em conformidade com o que se observa nos gráficos mostrados na Figura 11 para frequências inferiores a 440 Hz.

5. CONCLUSÃO

Foram identificadas diferenças significativas no espectro de frequências entre cavaletes não modificados e cavaletes modificados. Conseqüentemente, alterações no que se refere ao timbre do som produzido devido à retirada do coração e dos ouvidos dos cavaletes. Para os cavaletes modificados, o comportamento das frequências dos harmônicos (H1 e H2) em relação a frequência fundamental (FF) distanciou-se de múltiplos inteiros.

As maiores diferenças ocorreram para as notas das cordas Lá e Mi (cordas mais agudas), o que corrobora os resultados da pesquisa qualitativa, em que a maioria dos entrevistados salientou existir diferenças entre os áudios 01 (CNM) e 02 (CM), predominantemente na região aguda da linha melódica.

Ficou evidente a dificuldade em se manter a intensidade sonora de forma semelhante entre as gravações, tanto para CM quanto para CNM, por isso o elevado desvio padrão percentual na relação entre essas grandezas. Estudos posteriores poderiam ser realizados visando manter a mesma pressão e velocidade do arco sobre as cordas, e com isso, possivelmente, conseguindo resultados mais coesos com relação às intensidades dos harmônicos.

A percepção dos entrevistados ao ouvir os dois áudios está alinhada com a análise quantitativa, ou seja, apontando que ao retirar o coração e ouvidos do cavalete do violino existe uma variação notável no som produzido, isto é, em seu timbre. Portanto, para se tocar em conjunto de orquestra, cameratas ou quartetos, é necessário ter atenção às alterações, nesses moldes, provocadas no cavalete do violino.

Estudos posteriores poderiam se concentrar em estudar a possibilidade de se manter uma padronização no âmbito das intensidades dos harmônicos ou se realmente ao se tocar com diferentes cavaletes (mesmo que de marcas iguais) as intensidades mudam significativamente entre os harmônicos das notas do violino.

REFERÊNCIAS

- BOUTIN, Henri; BESNAINOU, Charles. **Physical parameters of the violin bridge changed by active control.** Journal of the acoustical society of america, v. 123, n. 5, p. 3656, 2008.
- BRITO, Armando; BRITO, Andrea Suzana de Sousa. **I-O Violino: A sublimação da madeira.** Ciência & Tecnologia dos Materiais, 2009, 21.3-4: 48-57.
- CASANOVA, Vitor. **O Violino - Das origens à forma actual.** Educação e tecnologia – Revista do instituto politecnico da guarda, n. 1, São Paulo, 1987.
- CREMER, Laurent. **The Physics of the violin.** MIT Press,Massachusetts, 1984.
- DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius et al. **Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico.** Dissertação de Mestrado – Departamento Música-Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas gerais, 2019.
- DA SILVA TEIXEIRA, Alexandre Carlos; STOPPA, Marcelo H. **Transfromada de Fourier aplicada em à análise espectral e acordes musicais.** Universidade Federal de Goiás – Campus de Catalão – Depto. de Matemática. 2017.
- DE PAULA, Hugo Bastos; LOUREIRO, Maurício Alves. **Estudo da Variação do Timbre da Clarineta em Performance através de Análise por Componentes Principais da Distribuição Espectral.** OPUS, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2000.
- DONOSO, José Pedro; TANNÚSI, Alberto; GUIMARÃES, Francisco; FREITAS Thiago Corrêa de. **A física do violino.** Revista Brasileira de Ensino de Física,São Paulo, v. 30, n. 2, p.12-15, jul. 2008.
- FLETCHER, Neville H.; ROSSING, Thomas D. **The physics of musical instruments.** Springer Science & Business Media, 2012.
- MATSUTANI, akihiro. **Study on Bridge of Violin by Photoelastic Observation.** Japan J. Applied Physica, 2002.
- HACKLINGER, M. **Violin timbre and bridge frequency response.** Acta Acustica united with Acustica, v. 39, n. 5, p. 323-330, 1978.

PAULINYI, Zoltan. **Contribuições Brasileiras na Composição para Violino, Viola e Viola Pomposa**. Revista Ictus-Periódico do PPGMUS/UFBA, v. 12, n. 2, 2011.

PRADO, Luis Antonio Gagliardi. **Matemática, física e música no renascimento: uma abordagem histórico-epistemológica para um ensino interdisciplinar**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012.

RODRIGUES, José Francisco. **A matemática e a música**. Lisboa, PT, 1999, 200.

SANTOS, Guilherme IC; GRILLO, Maria LN; BAPTISTA, Luiz RPL. **Comparação acústica entre diferentes violinos**. Encontro da sociedade brasileira de acústica, 28°. Porto Alegre, 2018.

WUENSCHÉ, Carlos Alexandre. **A física da música**. 48 f. Monografia (Especialização)-Curso de Física, Ipee, Itajubá, 2006.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. **A defesa da universidade alemã como solução para a superação da cisão entre as ciências e a vida: Hermann von Helmholtz, Goethe e a popularização da ciência**. Ciência e Sociedade CBPF-CS-004/1, v. 1, 2011.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO

1 - Você é músico?

Sim ()

Não ()

2 - você toca algum instrumento da família das cordas friccionadas? (ex: violino, viola, violoncelo)

Sim ()

Não ()

3 - Você consegue perceber alguma diferença entre os dois áudios?

Sim ()

Não ()

Talvez ()

4 - Se sua resposta foi Sim, do áudio 2 em relação ao áudio 1, ele seria mais:

"Brilhante" ()

"áspero" ()

"Doce" ()

"Estridente" ()

5 - Se você conseguiu perceber alguma diferença, onde ela seria maior?

Na parte mais grave (começo) ()

Na parte mais aguda (metade até o fim) ()

6 - Qual deles você preferiu ouvir?

Áudio 01 ()

Áudio 02 ()

7 - Explique, em poucas palavras, sua escolha na questão anterior.

APÊNDICE 2 – RESPOSTAS DA QUESTÃO 7

“O audio 1 soa mais suave”

“Som doce”

“Sensação de ter mais harmonia”

“O Audio 1 mais suave menos estridente perfeito .o áudio 2 nem parece que e a msm pessoa tocando e acho que deve estar com o cavalete cortado kkkkk”

“Lindo.muito.Belo”

“O áudio 1 está com som mais limpo, vívido e conseqüentemente, mais agradável de se ouvir”

“Estão muito parecidos, porém o 1 está mais suave.”

“No áudio 1 o som ficou menos estridente, digamos assim, na parte oitavada!”

“Definição melhor”

“não sei se foi a altura de meu microfone, mas preferi o primeiro por ser mais suave aos meus ouvidos”

“Parece que o agudo esta com uma afinacao maior”.

“Não consigo explicar, parece vibrar na parte grave.”

“Prefiro o áudio dois, iniciou um pouco mais grave (eu acho) - acho mais confortável de se ouvir.”

“Estava mais suave e gostosa”

“O primeiro áudio achei mais "macio" em relação ao segundo”

“Achei mais suave e não tão agudo”

“A escolha pelo áudio 1 foi realizada pelo fato de que o mesmo me pareceu mais harmônico entre a primeira e segunda parte”.

“O som foi mais doce e mais harmônico aos ouvidos no audio 1”

“O som no primeiro áudio parecia mais "suave" do que o segundo”

“O som do áudio 1 apresentou uma melodia mais suave, principalmente quando começa a parte mais aguda”

“Audio 1 estava com a afinação mais equilibrada”

“Não sei ao certo, talvez por proximidade com o A=440”

“os agudos e me parece mais "limpo””

“o primeiro áudio transpareceu mais suavidade”

“Achei o som mais agradável na parte mais aguda da música.

mais calmo”

“Considero o Audio 1 mais suave, portanto, compátivel com meu gosto”

“Eu achei os áudios bem parecidos, porém o áudio 2 parece um pouco menos agudo”

“O som do áudio 2 é muito seco, já o áudio 1 é mais cheio.

Tocou mais fundo nas minhas emoções ao ouvir”

“O som do primeiro áudio é mais agradável, um som mais "limpo".”

“A execução está mais "limpa". A segunda parece ter umas "sujeiras" na execução.”

“Está mais suave, mais afinado, e mais doce de ouvir”

APÊNDICE 3 – DADOS COLETADOS

Tabela 5 - Dados coletados para CNM 1

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-35,3	394	-28,2	581	-29,2	193	-29,2	397	-14,4	583	-22,6
Lá	215	-50,4	441	-22,8	655	-34,8	224	-30,9	445	-21,2	664	-29,9
Si	242	-30,9	492	-15	742	-21,3	241	-27,9	491	-11,3	740	-20,3
Dó	267	-24,6	527	-20,6	785	-23,6	266	-21,8	526	-18,3	785	-19,9
Re	289	-23,2	581	-27,8	874	-25,5	289	-18,6	580	-21	872	-21,9
Re	291	-36,1	582	-33,3	878	-27,8	291	-28,1	583	-24,9	878	-20,7
Mi	327	-32	660	-25,6	992	-30,9	322	-30,1	641	-41,3	970	-27,2
Fá#	369	-24,7	744	-27,8	1111	-42,6	367	-18,6	742	-24,1	1100	-33,6
Sol	392	-32,4	783	-32	1172	-40,3	388	-24,6	781	-22,6	1167	-35,1
Lá	441	-26,8	873	-26,8	1302	-40,5	439	-16,7	869	-19,2	1302	-31
Lá	442	-32,4	878	-32	1314	-42,9	443	-22,6	879	-21,6	1313	-40,1
Si	492	-23	985	-21,7	1478	-41	498	-17,7	1003	-19,7	1500	-28,7
Dó	559	-29,9	1109	-30,9	1663	-31,9	565	-27,1	1118	-31,3	1675	-27,3
Re	581	-30,7	1168	-32,6	1743	-35,2	582	-26,9	1172	-31	1747	-31,1
Mi	657	-28,7	1306	-33,8	1954	-46,4	652	-36,1	1302	-30,6	1950	-27,1
Mi	661	-38	1315	-31,7	1975	-48,8	660	-38,2	1315	-31,9	1979	-40,9
Fá#	753	-19,5	1513	-39,4	2258	-31,3	743	-15,8	1478	-37,2	2217	-31
Sol#	839	-23	1685	-32,5	2516	-39,9	839	-16,5	1689	-24,9	2519	-30,6
Lá	881	-23	1766	-32,5	2642	-40,3	875	-20,9	1746	-31,5	2628	-36,8
Si	1002	-21,2	1998	-32,8	2992	-46,1	999	-16,6	1989	-31,5	2977	-29,4

Fonte: Próprio autor

Tabela 6- Dados coletados para CNM 2

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-36,3	395	-28,7	582	-31,5	193	-30	397	-19,1	584	-24,5
Lá	213	-53,2	441	-22	653	-36,3	218	-44,6	439	-16,3	655	-32,3
Si	251	-30	488	-18,8	727	-27,6	251	-26	490	-11,8	740	-22
Dó	263	-28,7	522	-24,1	777	-24,6	257	-28,6	526	-16,3	780	-21,4
Re	288	-22,1	579	-24,1	870	-22	287	-19	580	-22,6	872	-19
Re	292	-36	583	-39,1	878	-30,1	289	-25,7	583	-24,1	879	-17,9
Mi	325	-36,2	654	-50	981	-29	324	-25	654	-33,3	984	-20
Fá#	368	-22,5	744	-24,9	1110	-37,2	368	-15,8	744	-18,5	1110	-34,6
Sol	391	-37	783	-31,1	1172	-43,4	396	-22	785	-25,5	1175	-31,7
Lá	441	-25,1	875	-28,2	1311	-38,9	440	-23,5	877	-21,3	1313	-33
Lá	443	-32,8	879	-31,7	1315	-43,4	442	-22,4	876	-22,1	1311	-27,7
Si	494	-26,9	997	-25	1483	-41,1	495	-20,2	998	-18,5	1489	-32,6
Dó	570	-30,6	1129	-35,5	1687	-35,5	558	-33,8	1114	-25,2	1668	-29,5
Re	584	-32,1	1177	-41,5	1753	-36,1	581	-29,1	1169	-36,3	1746	-31
Mi	661	-35,4	1314	-32,6	1967	-50,3	656	-31	1308	-25,6	1955	-34,8
Mi	660	-40	1314	-32,6	1975	-43,8	660	-25,4	1313	-25,8	1967	-36,3
Fá#	746	-25,7	1485	-37,8	2230	-25,8	745	-14,4	1484	-27,9	2222	-20,9
Sol#	839	-18,5	1685	-28,1	2519	-37,6	836	-15,2	1673	-23	2506	-30,7
Lá	880	-22,1	1758	-32,5	2639	-41,2	877	-19,2	1747	-29,2	2633	-36,6
Si	988	-21,4	1974	-38,4	2964	-35,8	994	-18,4	1983	-36,4	2968	-37,8

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 - Dados coletados para CNM 3

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-35,3	394	-28,2	581	-29,2	193	-29,2	397	-14,4	583	-22,6
Lá	215	-50,4	441	-22,8	655	-34,8	224	-30,9	445	-21,2	664	-29,9
Si	242	-30,9	492	-15	742	-21,3	241	-27,9	491	-11,3	740	-20,3
Dó	267	-24,6	527	-20,6	785	-23,6	266	-21,8	526	-18,3	785	-19,9
Re	289	-23,2	581	-27,8	874	-25,5	289	-18,6	580	-21	872	-21,9
Re	291	-36,1	582	-33,3	878	-27,8	291	-28,1	583	-24,9	878	-20,7
Mi	327	-32	660	-25,6	992	-30,9	322	-30,1	641	-41,3	970	-27,2
Fá#	369	-24,7	744	-27,8	1111	-42,6	367	-18,6	742	-24,1	1100	-33,6
Sol	392	-32,4	783	-32	1172	-40,3	388	-24,6	781	-22,6	1167	-35,1
Lá	441	-26,8	873	-26,8	1302	-40,5	439	-16,7	869	-19,2	1302	-31
Lá	442	-32,4	878	-32	1314	-42,9	443	-22,6	879	-21,6	1313	-40,1
Si	492	-23	985	-21,7	1478	-41	498	-17,7	1003	-19,7	1500	-28,7
Dó	559	-29,9	1109	-30,9	1663	-31,9	565	-27,1	1118	-31,3	1675	-27,3
Re	581	-30,7	1168	-32,6	1743	-35,2	582	-26,9	1172	-31	1747	-31,1
Mi	657	-28,7	1306	-33,8	1954	-46,4	652	-36,1	1302	-30,6	1950	-27,1
Mi	661	-38	1315	-31,7	1975	-48,8	660	-38,2	1315	-31,9	1979	-40,9
Fá#	753	-19,5	1513	-39,4	2258	-31,3	743	-15,8	1478	-37,2	2217	-31
Sol#	839	-23	1685	-32,5	2516	-39,9	839	-16,5	1689	-24,9	2519	-30,6
Lá	881	-23	1766	-32,5	2642	-40,3	875	-20,9	1746	-31,5	2628	-36,8
Si	1002	-21,2	1998	-32,8	2992	-46,1	999	-16,6	1989	-31,5	2977	-29,4

Fonte: Próprio autor

Tabela 8 - Dados coletados para CM 1

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-35,3	388	-29	578	-31,3	193	-28,4	385	-22,4	580	-23
Lá	210	-58	441	-21,2	649	-41,3	213	-48,4	438	-12,2	644	-33,8
Si	239	-29,4	487	-25,8	726	-28	239	-27,7	486	-21,5	724	-23,9
Dó	264	-24,4	519	-27,8	774	-23,8	261	-20,9	516	-21,5	770	-20,9
Re	288	-35,4	581	-23,7	874	-28,2	285	-34,5	581	-22,4	875	-24,6
Re	291	-34,4	580	-34	873	-28,4	286	-26,8	580	-27,4	872	-22,7
Mi	326	-32,6	659	-42,3	989	-28,7	323	-28,4	644	-40	972	-25,6
Fá#	371	-22,3	747	-20,2	1117	-41,7	365	-16,9	733	-26,3	879	-42,7
Sol	393	-31	785	-29,7	1173	-34,1	379	-21,7	767	-20,2	950	-51
Lá	440	-21,4	869	-25,2	1296	-42,5	439	-20,3	875	-21,4	1307	-34,6
Lá	442	-29,5	876	-28,3	1310	-40,6	440	-21,6	873	-21,6	1305	-28,1
Si	490	-21,4	976	-21	1469	-38,7	491	-19,3	980	-15,5	1226	-54
Dó	555	-35,5	821	-62,6	1104	-26,8	559	-30	760	-50,8	957	-49,2
Re	581	-22,8	808	-61,3	968	-60,1	582	-19	805	-59,6	961	-58,4
Mi	655	-31,5	1304	-35,5	1951	-36,8	655	-23,6	838	-51,2	963	-53,6
Mi	657	-35,6	825	-67,8	982	-64,8	657	-32,7	1308	-40,5	1960	-18,7
Fá#	742	-24,1	1476	-28,9	2212	-29,8	738	-22,2	943	-65	1239	-69,3
Sol#	834	-19,6	1663	-29,6	2068	-67,3	828	-13,7	1228	-69,1	1648	-26,2
Lá	875	-18	1744	-34,8	2070	-68	874	-14,6	1234	-69,2	1485	-61,3
Si	990	-23,1	1969	-26,2	2950	-27,1	974	-17,6	1484	-67,6	1951	-23,9

Fonte: Próprio autor

Tabela 9 - Dados coletados para CM 2

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-35,5	390	-24,7	578	-32,6	193	-29,7	387	-21	579	-25,8
Lá	203	-55,8	434	-23,9	643	-33,8	217	-50,4	435	-17	642	-27,4
Si	238	-35,2	485	-22,1	718	-28,5	237	-30,9	485	-19,9	719	-23,7
Dó	259	-29,5	510	-21,3	766	-28,4	255	-25,8	513	-20,4	770	-20,9
Re	285	-28,3	578	-26,9	867	-30,2	285	-19,7	578	-23,6	865	-26,2
Re	287	-36,1	579	-34,9	872	-27,1	286	-28,9	579	-31	873	-19,2
Mi	323	-32,8	654	-37,8	972	-28,6	322	-27,8	455	-53	644	-34
Fá#	366	-26,2	739	-29,7	1098	-35,9	366	-22,2	732	-24,4	881	-39,8
Sol	383	-40,7	773	-35,9	1011	-59,2	380	-28,6	763	-23,9	950	-52,9
Lá	440	-28,2	872	-26,5	1306	-39,5	440	-22,8	872	-21,6	1305	-35,9
Lá	441	-32,3	875	-31,5	1309	-41,7	441	-24,5	874	-23	1306	-27,5
Si	489	-30,3	974	-26,1	1466	-42,3	489	-22,7	753	-56,6	977	-20,4
Dó	557	-38,7	823	-65,2	1113	-33,8	552	-33,2	742	-45,7	1107	-25,2
Re	581	-28,9	838	-66,7	977	-62,7	581	-22,3	799	-62,3	951	-62,3
Mi	656	-33,3	991	-62,6	1307	-36,2	657	-27,8	797	-63,2	945	-62,7
Mi	656	-41,1	816	-68,7	995	-63,4	657	-28,6	804	-65	1108	-63
Fá#	740	-27,7	993	-67,4	1244	-76,3	737	-23,1	983	-60	1270	-69,4
Sol#	829	-21,4	1246	-77	1654	-33,1	824	-14,6	969	-54,1	1271	-64,9
Lá	873	-22,3	1271	-77,1	1421	-77,9	871	-16,4	1271	-69,6	1417	-65,9
Si	973	-21,1	1429	-77,9	1688	-69	970	-17,9	1271	-70	1411	-67,7

Fonte: Próprio autor

Tabela 10 - Dados Coletados para o CM 3

Notas	Piano (75 ± 5 dB)						Forte (100 ± 5 dB)					
	FF		H1		H2		FF		H1		H2	
	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)	Fre. (Hz)	Inten. (dBfs)
Sol	193	-32,8	389	-25,7	578	-31,5	193	-28,5	392	20	579	-28,4
Lá	213	-51	438	-25,3	647	-38,6	216	-47,4	438	-21	648	-35,5
Si	240	-29,9	487	-23,6	728	-26	239	-26,8	490	-18,4	733	-23,5
Dó	265	-27,3	525	-27,1	777	-29,5	261	-23,5	523	-21,6	774	-28,6
Re	284	-32	578	-30	867	-29,6	284	-22,8	416	-48	575	-25,8
Re	290	-44,1	578	-42,3	872	-29,7	285	-32,4	423	-52,2	579	-32,3
Mi	321	-32,4	643	-42,2	963	-25,1	323	-29,2	469	-51,2	640	-38,7
Fá#	366	-29,2	736	-30,9	1096	-43,5	366	-20,2	739	-26	953	-40,7
Sol	387	-39,1	774	-37,4	1014	-63,1	385	-35,4	771	-25,9	954	-51,4
Lá	439	-26,8	869	-24,6	1299	-40,6	428	-22,1	856	-21	1280	-33,2
Lá	441	-32,7	875	-32,2	1308	-39,4	440	-24,8	873	-25,2	1304	-30,5
Si	490	-29,8	974	-26,4	1231	-74,3	486	-21	725	-57,7	966	-24
Dó	559	-38	781	-66,8	1109	-31,8	546	-33,9	854	-57,6	1098	-30
Re	580	-37,9	797	-68,3	964	-66,9	576	-32	769	-56,1	956	-53,3
Mi	654	-31	807	-67,9	942	-64,4	654	-22,5	972	-55,3	1300	-31,2
Mi	657	-34,1	853	-68	977	-68,3	657	-26	862	-61,3	940	62,4
Fá#	742	-21,6	952	-69,7	1236	-74,1	731	-19,7	959	-53,8	1223	-54,8
Sol#	829	-18,8	1230	-73,9	1649	-36,5	826	-13,3	935	-48,3	1226	-58,2
Lá	877	-22,8	1235	-73,8	1495	-73,6	869	-18,8	1214	-66,7	1412	-59,6
Si	967	-20,1	1242	-70	1504	-72,7	963	-10,5	1506	-65,1	1925	-20,9

Fonte: Próprio auto

