

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE MÚSICA

MARCUS VINICIUS DA SILVA EVANGELISTA

**Análise acústica aplicada ao estudo de surdinas de violino:
fundamentos para um protótipo modular multifuncional**

Belo Horizonte

2023

Marcus Vinicius da Silva Evangelista

**Análise acústica aplicada ao estudo de surdinas de violino:
fundamentos para um protótipo modular multifuncional**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Música da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Música.

Linha de pesquisa: Sonologia

Orientador: Prof. Sérgio Freire

Belo Horizonte

2023

E92a Evangelista, Marcus Vinicius da Silva.

Análise acústica aplicada ao estudo de surdinas de violino [manuscrito] : fundamentos para um protótipo modular multifuncional / Marcus Vinicius da Silva Evangelista. - 2023.
385 f. : il.

Orientador: Sergio Freire Garcia.

Linha de pesquisa: Sonologia.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

Inclui bibliografia.

1. Música - Teses. 2. Sonologia. 3. Violino - Acústica. I. Garcia, Sergio Freire. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Música. III. Título.

CDD: 781.11



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE MÚSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Tese defendida pelo aluno **Marcus Vinicius da Silva Evangelista**, em 21 de setembro de 2023, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Sérgio Freire Garcia

Universidade Federal de Minas Gerais

(orientador)

Prof. Dr. Leonardo Fuks

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Thiago de Almeida Magalhães Campolina

Músico / Engenheiro de Áudio

Prof. Dr. Edson Queiroz de Andrade

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Fausto Borém de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Freire Garcia, Professor do Magistério Superior**, em 26/09/2023, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Queiroz de Andrade, Professor do Magistério Superior**, em 27/09/2023, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Fuks, Usuário Externo**, em 27/09/2023, às 19:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago de Almeida Magalhães Campolina**, Usuário Externo, em 28/09/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Borem de Oliveira**, Professor do Magistério Superior, em 01/10/2023, às 14:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2598902 e o código CRC 9BF3839E.

Dedicatória

A meus pais, Áurea Dêse da Silva Evangelista e Enrico Evangelista, que me deram, de primeiro, a vida, o amor e o cuidado e, depois, a educação: na constância do afeto e da integridade.

A minhas filhas amadas, Nina e Beatriz, que renovam em minha vida, com suas próprias florescentes vidas, minha esperança no presente e no futuro.

E a todos aqueles que não temem o incerto do desconhecido, que acreditam que a busca pelo conhecimento nos torna mais humanos, a eles, dedico essa humilde contribuição para nossa eterna travessia.

Agradecimentos

Agradeço, primeiro, à minha esposa e companheira, Joiceane, por apoiar-me, sempre, e cada vez mais, desde que nos conhecemos, em nossos projetos, nos prováveis e nos improváveis, nos possíveis e nos impossíveis.

Ao Professor Sérgio Freire por toda sua dedicação, por ter colocado seu imenso conhecimento e erudição à disposição de um projeto cujos caminhos mal se delineavam em seu início, tendo auxiliado em todas as etapas de sua realização, com uma visão crítica e perspicácia ímpares.

A todas as pessoas, com os profissionais de saúde à frente, que enfrentaram, não obstante todas as adversidades possíveis, o desafio de resistir aos dias de tantas incertezas e perdas que nos acometeram durante a pandemia, de 2020 a 2022, dentre as quais os profissionais da educação também se destacam, símbolo de perseverança e superação em prol de nosso futuro, e, dentre esses, em especial, a toda a comunidade da UFMG, que se desdobrou para garantir a continuidade do grande projeto de cidadania que o ensino superior gratuito e de qualidade representa para nosso país, esperança de justiça e transformação em nossa sociedade.

Aos professores Ayran Nicodemo e Leonardo Lobão Lacerda, a Antônio Dimas Generoso e Maicon Alexandre Pereira Barbosa por terem doado seu precioso tempo para as gravações de nossos “infindáveis glissandos”. Ao professor Ayran, ainda, por ter cedido, de maneira totalmente generosa, um de seus violinos, deixando-o à disposição para as gravações da pesquisa. Ao professor Fernando Braga Campos por ter disponibilizado, pelo tempo necessário, o microfone utilizado nos registros.

A meu amigo de todas as horas, Márcio Moreira Mendes, pelo companheirismo ao longo desses anos. Ao amigo Rubem Filho, por ceder generosamente seu imenso talento e tempo, enriquecendo o trabalho com a exatidão de seu traço. A Marcelo Monteiro Menezes que, de maneira desinteressada, colaborou com a impressão em 3D dos primeiros protótipos, com orientações e sugestões relativas a essa verdadeira arte.

Aos demais professores e toda a equipe do LaPIS (Laboratório de Performance com Sistemas Interativos), em particular a Augusto Cesar Pereira Armondes e a Fellipe Miranda Martins, pelas enriquecedoras discussões e o compartilhar de suas experiências.

E, por fim, à FAPEMIG, pelo fomento ao desenvolvimento da ciência e à formação de pesquisadores em nosso estado.

*“Digo: o real não está na saída nem na chegada:
ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.”¹*

¹ “Grande Sertão: Veredas” (ROSA, 1972, p. 52)

Resumo

A presente pesquisa de doutorado objetivou o desenvolvimento de um protótipo de surdina de violino baseado na análise de dados objetivos, relacionados às suas características físicas, passíveis de serem alteradas por diferentes montagens e configurações de uso. Este desenvolvimento fundamentou-se na análise acústica das alterações produzidas na sonoridade do instrumento por diferentes surdinas. Para a coleta e análise dos dados foram feitos registros de áudio em condições controladas de execução, e utilizados os descritores acústicos – e psicoacústico – LTAS, SMS e *Loudness*. Foram selecionados 14 tipos de surdinas originais, dentre os mais utilizados por violinistas. Também foram realizadas prospecções visando isolar a influência de características físicas específicas dos diferentes dispositivos nos efeitos gerados na sonoridade dos instrumentos. Todas as amostragens foram feitas em dois violinos, com diferentes músicos. Os resultados são relacionados com a bibliografia existente a respeito da acústica do violino, em especial do cavalete, que sofre a ação direta das surdinas. A mesma metodologia de análise foi aplicada ao protótipo de surdina desenvolvido, para uma avaliação preliminar de seus efeitos em diferentes configurações de uso. Espera-se, assim, contribuir para a compreensão do funcionamento das surdinas e das alterações produzidas pelo uso das mesmas na sonoridade do violino, fornecendo subsídios para um emprego mais consciente do recurso por parte dos instrumentistas e a ampliação das possibilidades de emprego do mesmo na música de concerto.

Palavras chave: surdina de violino, timbre, LTAS, SMS, *loudness*.

ABSTRACT

This doctoral research aimed at developing a violin mute prototype based on the analysis of objective data related to its physical characteristics, which can be altered, by different assemblies and configurations of use. This development was based on the acoustic analysis of the alterations produced in the instrument's sonority by different mutes. For data collection and analysis, audio recordings were made under controlled execution conditions, using the acoustic – and psychoacoustic – LTAS, SMS, and Loudness descriptors. Fourteen types of original mutes were selected, among the most used by violinists. Prospects were also carried out to isolate the influence of specific physical characteristics of the different devices on the effects generated on the sound of the instruments. All samplings were done on two violins, with distinct musicians. The results are related to the existing bibliography about the acoustics of the violin, especially the bridge, which suffers the direct action of the mutes. The same analysis methodology was applied to the developed mute prototype for a preliminary evaluation of its effects in different configurations of use. It's hoped, therefore, to contribute to the understanding of the operation of mutes and the alterations produced by their use in the violin's sonority, providing subsidies for a more conscious use by the instrumentalists and the expansion of the possibilities of their application in concert music.

Keywords: violin mute, tone color, LTAS, SMS, loudness.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – (a) Detalhe de “ <i>Il concerto degli angeli</i> ” (1535-6), afresco pintado na cúpula da Catedral de Saronno, onde estão representados um violino, uma viola e um violoncelo e (b) Detalhe de “ <i>La Madonna degli aranci</i> ” (1529-30), localizada na Igreja de San Cristoforo, em Vercelli, obras de Gaudenzio Ferrari. | 52 |
| Figura 1.2 – Mapa com cidades que foram importantes no começo da história do violino. | 53 |
| Figura 1.3 – Esquema representando as partes básicas de um violino. | 57 |
| Figura 1.4 – Mecanismo móvel do talão do arco. | 59 |
| Figura 1.5 – O arco moderno e suas partes. | 60 |
| Figura 1.6 – A evolução do arco do violino do séc. XVII ao XVIII. O último é o arco moderno, desenvolvido por Tourte por volta de 1785, também conhecido como arco Viotti. | 61 |
| Figura 1.7 – Corda friccionada: movimento de Helmholtz. | 63 |
| Figura 1.8 – Direção do deslocamento da corda ao longo do tempo. | 63 |
| Figura 1.9 – Funções de deslocamento e velocidade em uma dada posição ao longo da corda, de acordo com as observações de Helmholtz. | 63 |
| Figura 1.10 – Corte esquemático do violino representando a Ressonância de Helmholtz. | 64 |
| Figura 1.11 – Visualização dos modos 2 (esquerda) e 5 (direita) de um típico tampo de violino. O mesmo é polvilhado com limalha e suspenso sobre um alto-falante ligado a um gerador de ondas senoidais. Quando a frequência atinge a mesma de um dos modos do tampo, este vibra vigorosamente, provocando o agrupamento da limalha ao longo das linhas nodais. | 65 |
| Figura 1.12 – Resposta acústica de um Guarneri del Gesù: ressonâncias do ar (A_0), do tampo superior (T_1/C_2) e do corpo (C_3 e C_4), além das ressonâncias em torno de 2.5 KHz do cavalete (<i>bridge hill</i>). | 66 |
| Figura 1.13 – Imagem de um tampo de violino expondo a barra harmônica. | 67 |
| Figura 1.14 – Caixa de ressonância do violino, detalhe para alma e barra harmônica. | 67 |
| Figura 1.15 – Violino montado com cavalete de modelo antigo e cordas de tripa, acervo da Fondazione Museo del Violino Antonio Stradivari, em Cremona. | 68 |
| Figura 1.16 – Cavalete de violino atual visto de frente. O orifício central é conhecido como coração e os laterais como ouvidos, embaixo, os pés. | 69 |
| Figura 1.17 – Na imagem do lado esquerdo, cavalete de Antonio Stradivari; do lado direito cavalete moderno. Estes foram os principais modelos de cavaletes usados ao longo da história do violino. | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 1.18 – Representação dos dois principais modos de vibração do cavalete; à esquerda a oscilação lateral da porção superior da peça, na faixa dos 3.000 Hz, conhecida como <i>bridge hill</i> . À direita, a ressonância característica da oscilação vertical, por volta do 6.000 Hz. | 71 |
| Figura 1.19 – (a) Mobilidade do cavalete de um violino Guarneri identificando os principais modos de vibração, observados por Jansson e Moral em pesquisa de 1982. A letra F indica o <i>bridge hill</i> (destaque nosso). (b) Análise, também de Jansson, de 25 violinos de alta qualidade. Na figura inferior o círculo (destaque nosso) delimita a região do <i>bridge hill</i> , podendo-se observar grande correspondência entre os modos de vibração dos dois trabalhos..... | 71 |
| Figura 1.20 – O cavalete como filtro "passa-baixas". | 72 |
| Figura 1.21 – Relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda, para uma velocidade constante de deslocamento do arco. Como se pode observar, tocando-se mais próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtêm um som mais brilhante. *Sul ponticello/Sul tasto: expressões italianas utilizadas nas partituras dos instrumentos de arco que indicam, respectivamente, tocar próximo ao cavalete e próximo ao espelho. | 74 |
| Figura 1.22 – Diagrama funcional do violino: do músico até o ouvinte. | 75 |
| Figura 1.23 – Descrição da atuação do corpo do violino e seus diferentes componentes responsáveis pelo espectro final do som do violino. | 76 |
| Figura 2.1 – Diversos tipos de surdinas para violino do acervo da pesquisa, ao lado de um cavalete do instrumento para dimensionamento do tamanho dos dispositivos. | 78 |
| (fonte: imagem própria)..... | 78 |
| Figura 2.2 – Surdina acoplada ao cavalete, à esquerda, e às cordas, à direita..... | 79 |
| Figura 2.3 – Fac-símile de "Le triomphe de l'amour" de Lully com sua detalhada instrução para a utilização de surdinas..... | 81 |
| Figura 2.4 – <i>Sordino</i> , de Filippo Bonanni, <i>Gabinetto armonico pieno d'instromenti sonori indicati, spiegati, e di nuovo corretti, ed accresciuti</i> (Rome, 1723), pl. 59, Getty Research Institute. | 82 |
| Figura 2.5 – Fac-símile de imagem do tratado de Mersenne da surdina para trompete e parte do trecho original em que ele a descreve..... | 83 |
| Figura 2.6 – Réplica de uma surdina feita de boxwood (<i>Buxus sempervirens</i>), do séc. XVIII, provavelmente italiana, a original tendo sido encontrada em um violino bolonhês do séc. XVIII. | 89 |
| Figura 2.7 – Excerto da "Verklärte Nacht" (1902) de Schoenberg, (composta originalmente para sexteto de cordas – na grade, de cima para baixo, 1º e 2º violinos, 1ª e 2ª violas e 1º e 2º | |

| | |
|---|-----|
| violoncelos), na qual o compositor especifica claramente quais instrumentos utilizarão surdina: “* 1º violino, 2ª viola e 2º cello sem surdina; 2º violino, 1ª viola e 1º cello com surdina” (tradução nossa)..... | 90 |
| Figura 2.8 – Foto da coleção de surdinas de Kenneth Sarch. | 92 |
| Figura 2.9 – (a) Relação entre a pressão mínima do arco e a altura (sem surdina) e (b) relação entre a pressão mínima do arco e a altura com surdina. | 105 |
| Figura 2.10 – LTAS de gravações de uma mesma escala sem (linha mais forte) e com surdina (linha mais clara). | 107 |
| Figura 2.11 – Funções de força registradas com sensores piezoelétricos em três posições no cavalete, com uma surdina acoplada ao mesmo: no topo, sensor no entalhe de apoio da corda; no centro, sensor sob o pé do lado da barra harmônica; e embaixo, sensor sob o pé do lado da alma. | 110 |
| Figura 2.12 – (a) Média da transferência de mobilidade lateral do cavalete do violino 1 analisado no artigo, sem surdina e com surdina, e (b) LTAS do mesmo violino tocando um glissando sem e com surdina. O envelope espectral exibe três formantes (F1, F2 e F3)..... | 116 |
| Figura 2.13 – Envelopes espectrais sem e com surdina do Sol ² solto (a) e do Mi ⁴ solto (b) nas diferentes condições de estudo. | 121 |
| Figura 2.14 – Nível de pressão sonora de cada uma das quatro condições de estudo, sem surdina e com as três surdinas analisadas, nas quatro cordas soltas do violino. | 124 |
| Figura 2.15 – Função de autocorrelação nas quatro condições de estudo, para a corda Ré solta..... | 125 |
| Figura 2.16 – Fac-símile da primeira patente de surdina localizada, de 1865. | 127 |
| Figura 2.17 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com mecanismos acoplados ao estandarte, da esquerda para a direita de 1874, 1889, 1895 e 1936..... | 128 |
| Figura 2.18 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com propostas pouco usuais, da esquerda para a direita de 1890, 1895 e 1909..... | 129 |
| Figura 2.19 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com propostas pouco usuais, da esquerda para a direita de 1924, 1926 e 1977..... | 129 |
| Figura 2.20 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com guia para estudo de arco acopladas nas mesmas, da esquerda para a direita de 1941 e 1924..... | 130 |
| Figura 2.21 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com diferentes sistemas de repouso para os dispositivos, da esquerda para a direita, de 1894, 1920, e 1922. | 131 |
| Figura 2.22 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdinas de estudo (abafadores), da esquerda para a direita, de 1915, 1949, 1989 e 2009..... | 131 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.23 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdinas fixadas às cordas, da esquerda para a direita, de 1928, 1940, 1945, 1946 e 1958..... | 132 |
| Figura 2.24 – Fac-símile da patente das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente, de 1969. | 133 |
| Figura 2.25 – Gráficos com as respostas a respeito da utilização de surdinas de estudo (abafadores) do questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas..... | 136 |
| Figura 2.26 – Gráficos com as respostas a respeito da utilização de surdinas de performance do questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas. | 139 |
| Figura 2.27 – Gráficos com as respostas a respeito da discussão acerca de surdinas entre grupos de performance musical..... | 141 |
| Figura 3.1 – Surdinas de performance fixadas ao cavalete (tamanho real)..... | 148 |
| Figura 3.2 – Surdina de borracha com um furo e um dente acoplada na corda Ré, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b). | 148 |
| Figura 3.3 – Surdina de borracha com dois furos e um dente, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b)..... | 149 |
| Figura 3.4 – Surdina Heifetz em posição de uso. | 150 |
| Figura 3.5 – Surdina de ébano menor com três dentes em posição de uso. | 151 |
| Figura 3.6 – Surdina de ébano maior com três dentes em posição de uso. | 152 |
| Figura 3.7 – Surdina de madeira leve com três dentes em posição de uso..... | 153 |
| Figura 3.8 – Surdinas de performance fixadas às cordas (tamanho real)..... | 154 |
| Figura 3.9 – Surdina tubular Sihon, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b)..... | 155 |
| Figura 3.10 – Surdina Super Sensitive Spector, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b). | 156 |
| Figura 3.11 – Surdina Alpine, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b)..... | 157 |
| Figura 3.12 – Surdinas de estudo ou abafadores (tamanho real)..... | 158 |
| Figura 3.13 – Abafador preto de borracha em posição de uso. | 159 |
| Figura 3.14 – Abafador vermelho de borracha em posição de uso. | 160 |
| Figura 3.15 – Abafador de metal leve com três dentes em posição de uso. | 161 |
| Figura 3.16 – Abafador de metal em posição de uso. | 162 |
| Figura 3.17 – Abafador de metal revestido de borracha em posição de uso. | 163 |
| Figura 3.18 – Réplica da surdina de ébano menor, feita de resina epóxi, e surdina de ébano menor alterada com enxerto de resina epóxi na parte superior. | 164 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.19 – (a) Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Cb) e réplicas de chumbo da (b) surdina de ébano menor (repChbsdEbpq) e do (c) abafador de metal revestido de borracha (abfMt2). | 165 |
| Figura 3.20 – Surdina de ébano menor com apenas um dente (a), surdina de ébano menor com dois dentes próximos (b) e surdina de ébano menor com dois dentes separados (c). | 167 |
| Figura 3.21 – Partes da surdina de ébano menor segmentada. | 169 |
| Figura 3.22 – Extensão completa de análise, incluindo as frequências fundamentais das notas que delimitam os glissandos e sua distribuição pelas quatro cordas do violino..... | 171 |
| Figura 3.23 – Arco utilizado nas gravações com as marcações para orientação dos instrumentistas, dividindo a extensão de crina do mesmo em quatro partes iguais. | 172 |
| Figura 3.24 – Partitura com a sequência de glissandos tocada das cordas graves para as agudas das amostras utilizadas para a pesquisa. | 174 |
| Figura 3.25 – Ponto de contato adotado para a execução das amostras em relação ao diagrama de Schelleng. A faixa vermelha representa o contato do arco com as cordas. | 175 |
| Figura 3.26 – Microfone DPA, modelo 4099-DC-1-199-V, com o <i>clip</i> para uso com violino utilizado em todas as gravações..... | 177 |
| Figura 3.27 – Curva de resposta (a 20cm da fonte sonora) do microfone DPA, modelo 4099-DC-1-199-V, utilizado nas gravações. | 178 |
| Figura 3.28 – Microfone DPA posicionado no instrumento, por meio do adaptador próprio, para a amostragem..... | 178 |
| Figura 3.29 – Exemplo do procedimento de cálculo de loudness, pelo modelo Zwicker, com a indicação dos níveis de filtro de terço de oitava utilizados na mensuração do ruído ambiente de uma fábrica. A intensidade específica está no eixo Y enquanto a taxa de banda crítica expressa em frequências de corte do filtro de terço de oitava está no eixo X..... | 181 |
| Figura 4.1 – Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)..... | 193 |
| Figura 4.2 – Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)..... | 195 |
| Figura 4.3 – Surdina Heifetz com um dente (sdHfz)..... | 197 |
| Figura 4.4 – Surdina de ébano menor (sdEbpq). | 199 |
| Figura 4.5 – Surdinas de ébano maior (sdEbgd). | 201 |
| Figura 4.6 – Surdina de madeira leve com três dentes (sdMd). | 203 |
| Figura 4.7 – Surdina tubular (sdCdTb)..... | 205 |
| Figura 4.8– Surdina Spector (sdCdSp). | 207 |
| Figura 4.9 – Surdina Alpine (sdCdAp)..... | 209 |
| Figura 4.10 – Abafador preto de borracha (abfBor1)..... | 211 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.11 – Abafador vermelho de borracha (abfBor2)..... | 213 |
| Figura 4.12– Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0)..... | 215 |
| Figura 4.13 – Abafador de metal (abfMt1). | 217 |
| Figura 4.14 – Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2)..... | 219 |
| Figura 4.15 – Réplica de resina epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq)..... | 221 |
| Figura 4.16 – Réplica de chumbo da surdina de ébano menor com três dentes (repChbsdEbpq)..... | 223 |
| Figura 4.17 – Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx)..... | 225 |
| Figura 4.18 – Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb). .. | 227 |
| Figura 4.19 – Surdina de ébano menor com apenas um dente. | 229 |
| Figura 4.20 – Surdina de ébano menor com apenas um dente. | 231 |
| Figura 4.21 – Surdina de ébano menor com apenas um dente. | 233 |
| Figura 4.22 – Surdina de ébano menor com dois dentes próximos. | 235 |
| Figura 4.23 – Surdina de ébano menor com dois. | 237 |
| Figura 4.24 – Surdina de ébano menor com dois dentes afastados. | 239 |
| Figura 4.25 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes). | 241 |
| Figura 4.26 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes). | 243 |
| Figura 4.27 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes). | 245 |
| Figura 4.28 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (três dentes)..... | 247 |
| Figura 4.29 – Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2). | 249 |
| Figura 4.30 – Surdina Heifetz com um dente, inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP).. | 251 |
| Figura 4.31 – Abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P). | 253 |
| Figura 4.32 – Espectrograma de uma amostra gravada pelo sujeito 1 com o violino 2 para a condição de controle..... | 257 |
| Figura 5.1 – Ilustração com diferentes ângulos de visão de uma unidade da surdina modular multifuncional..... | 321 |
| Figura 5.2 – Desenho técnico com as dimensões de um módulo da surdina modular multifuncional..... | 322 |
| Figura 5.3 – Ilustração de montagens com dois e três módulos com diferentes alinhamentos dos dentes para acoplamentos variados com o cavalete da surdina modular multifuncional. | 322 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.4 – Ilustração de um cilindro de preenchimento interno com comprimento para uso em montagens em três unidades, fora e colocado dentro da surdina, e montagens com um e dois módulos com cilindros de preenchimento colocados nos dutos internos..... | 323 |
| Figura 5.5 – Ilustração com diferentes ângulos de visão de uma unidade da surdina modular multifuncional adaptada para ser produzida em metal, sendo os pés do módulo modificados para esse fim. | 324 |
| Figura 5.6 – Imagens, em tamanho real, de montagens com um, dois e três unidades de resina impressa em 3D e com uma e três unidades de metal da surdina modular multifuncional. ... | 324 |
| Figura 5.7 – Imagens de uma montagem com três unidades de resina impressa em 3D da surdina modular multifuncional utilizando um elástico para fixação às cordas, permitindo que seja mantida no instrumento em (a) posição de repouso, entre o cavalete e o estandarte, e (b) em posição de uso com o elástico de fixação. | 325 |
| Figura 5.8 – Configuração com um módulo em resina do protótipo em três posições de uso..... | 329 |
| Figura 5.9 – Configuração com dois módulos em resina do protótipo em duas posições de uso..... | 334 |
| Figura 5.10 – Configuração com três módulos em resina do protótipo em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete. ... | 337 |
| Figura 5.11 – Configuração com um módulo em metal do protótipo em três posições de uso..... | 342 |
| Figura 5.12 – Configuração com três módulos em metal do protótipo em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais), a entrarem em contato com o cavalete. | 346 |
| Figura 5.13 – Configuração com dois módulos de resina intercalados com um de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento..... | 351 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 4.1: Médias dos <i>Loudness</i> , com os respectivos desvios padrão, e da média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle. | 191 |
| Tabela 4.2: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdBor1 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 193 |
| Tabela 4.3: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdBor2 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 195 |
| Tabela 4.4: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdHfz (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 197 |
| Tabela 4.5: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbpq (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 199 |
| Tabela 4.6: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbgd (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do | |

| | |
|---|-----|
| residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 201 |
| Tabela 4.7: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdMd (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 203 |
| Tabela 4.8: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdCdTb (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 205 |
| Tabela 4.9: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdCdSp (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 207 |
| Tabela 4.10: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdCdAp (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 209 |
| Tabela 4.11: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfBor1 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 211 |
| Tabela 4.12: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de | |

| | |
|--|-----|
| participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfBor2 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 213 |
| Tabela 4.13: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt0 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 215 |
| Tabela 4.14: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt1 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 217 |
| Tabela 4.15: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt2 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 219 |
| Tabela 4.16: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de repEpxsdEbpq (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 221 |
| Tabela 4.17: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de repChbsdEbpq (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 223 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 4.18: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb/Epx (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 225 |
| Tabela 4.19: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb/Chb (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvio padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 227 |
| Tabela 4.20: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dGD (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 229 |
| Tabela 4.21: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dDA (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 231 |
| Tabela 4.22: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dAE (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 233 |
| Tabela 4.23: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2dpG (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação | |

| | |
|---|-----|
| do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 235 |
| Tabela 4.24: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2dpE (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 237 |
| Tabela 4.25: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2ds (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 239 |
| Tabela 4.26: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDDA (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 241 |
| Tabela 4.27: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDAE (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 243 |
| Tabela 4.28: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegDAAE (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 245 |
| Tabela 4.29: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de | |

| | |
|--|-----|
| participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDDAAE (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 247 |
| Tabela 4.30: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de repChbabfMt2 (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência)..... | 249 |
| Tabela 4.31: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdHfzP (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 251 |
| Tabela 4.32: Médias dos <i>Loudness</i> , dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt0P (médias dos <i>Loudness</i> e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência). | 253 |
| Tabela 4.33: Correlação de Pearson (<i>valor-p</i> < 0,05) entre as diferenças das curvas de LTAS com dados reduzidos em relação à condição de controle, de todas as 31 condições de estudo que utilizaram algum tipo de dispositivo em diferentes configurações..... | 267 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.1 – Curva LTAS da mediana da condição de controle de 0 a 24 kHz..... | 192 |
| Gráfico 4.2 – Curva LTAS da mediana da condição de controle de 190 a 2.000 Hz, com barra de erro relativa à dispersão dos dados (faixa das frequências fundamentais amostradas). | 192 |
| Gráfico 4.3 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 194 |
| Gráfico 4.4 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de borracha com um furo e dois dentes (sdBor2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 196 |
| Gráfico 4.5 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Heifetz (sdHfz) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 198 |
| Gráfico 4.6 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com três dentes (sdEbmq) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 200 |
| Gráfico 4.7 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano maior com três dentes (sdEbgd) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 202 |
| Gráfico 4.8 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de madeira leve com três dentes (sdMd) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 204 |
| Gráfico 4.9 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina tubular Sihon (sdCdTb) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 206 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.10 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Spector (sdCdSp) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 208 |
| Gráfico 4.11 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Alpine (sdCdAp) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 210 |
| Gráfico 4.12 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador preto de borracha (abfBor1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 212 |
| Gráfico 4.13 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador vermelho de borracha (abfBor2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 214 |
| Gráfico 4.14 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal leve com três dentes (abfMt0) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 216 |
| Gráfico 4.15 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal de metal (abfMt1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.700-17.250 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 218 |
| Gráfico 4.16 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal revestido de borracha (abfMt2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 220 |
| Gráfico 4.17 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 222 |
| Gráfico 4.18 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 | |

| | |
|---|-----|
| kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 224 |
| Gráfico 4.19 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso de surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 8.500-18.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 226 |
| Gráfico 4.20 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso de surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000.Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 228 |
| Gráfico 4.21 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Sol/Ré (sdEb1dGD) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.... | 230 |
| Gráfico 4.22 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Ré/Lá (sdEb1dDA) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.... | 232 |
| Gráfico 4.23 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Lá/Mi (sdEb1dAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 234 |
| Gráfico 4.24 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEb2dpG) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 236 |
| Gráfico 4.25 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEb2dpE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 238 |
| Gráfico 4.26 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes afastados acoplada entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEb2ds) em relação à mediana | |

| | |
|--|-----|
| da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 240 |
| Gráfico 4.27 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEbSegGDDA) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 242 |
| Gráfico 4.28 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 244 |
| Gráfico 4.29 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 246 |
| Gráfico 4.30 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de três dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDDAAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 248 |
| Gráfico 4.31 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 250 |
| Gráfico 4.32 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Heifetz inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 252 |
| Gráfico 4.33 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P) em relação à mediana da condição de | |

| | |
|---|-----|
| controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.710-18.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle..... | 254 |
| Gráfico 4.34 – (a) Sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Sol, registrados pelo sujeito 2 com o violino 2, para a condição de controle e (b) sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Ré, registrados pelo sujeito 3 com o violino 2, para a condição de controle. | 255 |
| Gráfico 4.35 – (a) Sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Lá, registrados pelo sujeito 1 com o violino 1, para a condição de controle e (b) sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Mi, registrados pelo sujeito 4 com o violino 1, para a condição de controle. | 256 |
| Gráfico 4.36 – Sobreposição dos perfis melódicos de duas das gravações dos oito glissandos na corda Ré, registradas por cada um dos quatro sujeitos com o violino 1, para a condição de controle. | 256 |
| Gráfico 4.37 – Curvas das medianas das LTAS das 24 amostras iniciadas para baixo e das 24 amostras iniciadas para cima, registradas pelos quatro executantes com os dois violinos para a condição de controle..... | 257 |
| Gráfico 4.38 – Curvas das medianas das LTAS dos 16 glissandos iniciados para baixo e dos 16 iniciados para cima de uma amostra registrada pelo sujeito 1 com o violino um para a condição de controle (amostra iniciada para baixo)..... | 258 |
| Gráfico 4.39 – Curvas das medianas das LTAS dos 16 glissandos iniciados para cima e dos 16 iniciados para baixo de uma amostra registrada pelo sujeito 3 com o violino dois para a condição de controle (amostra iniciada para cima)..... | 258 |
| Gráfico 4.40 – Curvas das medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino um, medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino dois e medianas, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas com os dois violinos, para a condição de controle. | 259 |
| Gráfico 4.41 – Diferença entre as medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino um e das 24 amostras registradas com o violino dois em relação à medianas, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas com os dois violinos, para a condição de controle. | 260 |
| Gráfico 4.42 – (a) Reconstituição do componente principal identificado pela SVD das 47 amostras da condição de controle analisadas e (b) reconstituição dos demais componentes identificados na mesma análise. | 261 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.43 – Diferença entre as medianas com o uso da surdina de ébano menor e a condição de controle dos dois violinos, com barra de erros de dispersão, e a diferença entre as medianas, na mesma condição de estudo, e a condição de controle de cada violino, com barra de erros de dispersão (190-800 Hz). | 262 |
| Gráfico 4.44 – Diferença entre as medianas com o uso da surdina de ébano menor e a condição de controle dos dois violinos, com barra de erros de dispersão, e a diferença entre as medianas, na mesma condição de estudo, e a condição de controle de cada violino, com barra de erros de dispersão (7.000-12.000 Hz). | 262 |
| Gráfico 4.45 – Médias de Loudness das 24 amostras de cada violino, por corda, e do instrumento. | 263 |
| Gráfico 4.46 – Curvas das medianas das LTAS das 12 amostras registradas por cada executante nos dois violinos e mediana, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas pelos 4 executantes com os dois violinos, para a condição de controle..... | 264 |
| Gráfico 4.47 – Médias de Loudness das 6 amostras de cada executante, nos 2 instrumentos..... | 265 |
| Gráfico 4.48 – Relação das surdinas originais analisadas organizadas por ordem crescente de peso com os respectivos percentuais de redução de intensidade em relação à condição de controle. | 268 |
| Gráfico 4.49 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 272 |
| Gráfico 4.50 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 273 |
| Gráfico 4.51 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz..... | 274 |
| Gráfico 4.52 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 274 |
| Gráfico 4.53 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz. | 275 |
| Gráfico 4.54 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve..... | 276 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 4.55 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas tubular Sihon, da Spector e da Alpine em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 277 |
| Gráfico 4.56 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas tubular Sihon, da Spector e da Alpine em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 278 |
| Gráfico 4.57 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas tubular Sihon, Spector e Alpine. | 279 |
| Gráfico 4.58 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 280 |
| Gráfico 4.59 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 281 |
| Gráfico 4.60 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 15.000 a 22.000 Hz. | 282 |
| Gráfico 4.61 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle dos cinco abafadores. | 283 |
| Gráfico 4.62 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 284 |
| Gráfico 4.63 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 285 |
| Gráfico 4.64 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle da surdina de ébano menor e da surdina de ébano maior. | 286 |
| Gráfico 4.65 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 287 |
| Gráfico 4.66 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 288 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.67 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos de LTAS das medianas da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle. | 289 |
| Gráfico 4.68 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, de sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi. | 290 |
| Gráfico 4.69 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo, de 190 a 800 Hz. | 291 |
| Gráfico 4.70 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo, de 190 a 12.000 Hz. | 292 |
| Gráfico 4.71 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo. | 293 |
| Gráfico 4.72 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo, de 190 a 800 Hz. | 294 |
| Gráfico 4.73 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo, de 190 a 20.000 Hz. | 295 |
| Gráfico 4.74 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo. | 296 |
| Gráfico 4.75 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso, de 190 a 800 Hz. | 297 |
| Gráfico 4.76 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso, de 190 a 12.000 Hz. | 298 |
| Gráfico 4.77 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos das medianas de LTAS da surdina de ébano menor, e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso. | 299 |
| Gráfico 4.78 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso. | 300 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 4.79 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 190 a 800 Hz. | 302 |
| Gráfico 4.80 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 190 a 12.000 Hz. | 303 |
| Gráfico 4.81 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 14.000 a 22.000 Hz. ... | 304 |
| Gráfico 4.82 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados..... | 305 |
| Gráfico 4.83 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete, de 190 a 800 Hz..... | 306 |
| Gráfico 4.84 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete, de 190 a 22.000 Hz..... | 307 |
| Gráfico 4.85 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete..... | 308 |
| Gráfico 4.86 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete, de 190 a 800 Hz..... | 309 |
| Gráfico 4.87 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete, de 190 a 12.000 Hz. | 309 |
| Gráfico 4.88 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete. | 310 |
| Gráfico 4.89 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e com três segmentos, de 190 a 800 Hz..... | 311 |
| Gráfico 4.90 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e com três segmentos, de 190 a 12.000 Hz..... | 312 |
| Gráfico 4.91 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos de LTAS das medianas da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos. | 313 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 4.92 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos..... | 315 |
| Gráfico 4.93 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso do abafador de metal pesado, do abafador de metal pesado revestido de borracha, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo, e sua réplica integralmente feita de chumbo e da réplica de chumbo do abafador de metal pesado revestido de chumbo, em relação à condição de 190 a 800 Hz. | 319 |
| Gráfico 5.1 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz..... | 329 |
| Gráfico 5.2 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 8.000 Hz..... | 330 |
| Gráfico 5.3 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições..... | 330 |
| Gráfico 5.4 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz..... | 332 |
| Gráfico 5.5 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz. | 332 |
| Gráfico 5.6 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá. | 333 |
| Gráfico 5.7 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 334 |
| Gráfico 5.8 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 22.000 Hz. | 335 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 5.9 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições. | 335 |
| Gráfico 5.10 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 337 |
| Gráfico 5.11 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 9.000 Hz. | 338 |
| Gráfico 5.12 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete. | 338 |
| Gráfico 5.13 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 340 |
| Gráfico 5.14 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz. | 340 |
| Gráfico 5.15 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo. | 341 |
| Gráfico 5.16 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 343 |
| Gráfico 5.17 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz. | 343 |
| Gráfico 5.18 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 15 kHz a 22 kHz. | 344 |
| Gráfico 5.19 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições. | 344 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 5.20 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz..... | 346 |
| Gráfico 5.21 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz..... | 347 |
| Gráfico 5.22 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete. | 347 |
| Gráfico 5.23 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz..... | 349 |
| Gráfico 5.24 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz..... | 349 |
| Gráfico 5.25 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo. | 350 |
| Gráfico 5.26 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz. | 352 |
| Gráfico 5.27 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional, em relação à condição de controle, de 190 a 8.000 Hz. | 352 |
| Gráfico 5.28 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional..... | 353 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro comparativo 4.1 – Peso, percentuais de participação dos residuais não harmônicos, <i>loudness</i> e variação de intensidade das 14 surdinas originais amostradas e da condição de controle..... | 265 |
| Quadro comparativo 4.2 – Percentual de participação do residual não-harmônico das 14 surdinas originais amostradas e da condição de controle por corda e do instrumento..... | 270 |
| Quadro comparativo 4.3 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios, com o uso da surdina de ébano menor e da surdina de ébano maior..... | 286 |
| Quadro comparativo 4.4 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios, com o uso da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi. | 290 |
| Quadro comparativo 4.5 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e sua réplica de chumbo..... | 293 |
| Quadro comparativo 4.6 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso do abafador de metal revestido de borracha e sua réplica de chumbo..... | 295 |
| Quadro comparativo 4.7 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e com a surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso. | 299 |
| Quadro comparativo 4.8 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e com a surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e com a surdina de ébano menor com dois dentes separados..... | 305 |
| Quadro comparativo 4.9 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios da condição de controle, com o uso da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete. | 307 |
| Quadro comparativo 4.10 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete. | 310 |
| Quadro comparativo 4.11 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e partes da | |

| | |
|--|-----|
| surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos..... | 314 |
| Quadro comparativo 4.12 – Comparação entre os percentuais de redução de intensidade, em relação à condição de controle, com o uso da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo, do abafador de metal pesado, do abafador de metal pesado revestido de borracha, da réplica integralmente feita de chumbo da surdina de ébano menor e da réplica de chumbo do abafador de metal pesado revestido de borracha. | 320 |
| Quadro comparativo 5.1 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso de diferentes configurações da surdina modular multifuncional. | 328 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| INTRODUÇÃO | 45 |
| Apresentação da proposta de pesquisa | 45 |
| Objetivos gerais..... | 49 |
| Objetivos específicos | 49 |
| | |
| PARTE I – CONTEXTO DA PESQUISA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 51 |
| 1 O VIOLINO..... | 51 |
| 1.1 Breve histórico do instrumento | 51 |
| 1.2 Abordagem científica do instrumento | 54 |
| 1.3 Características físicas do violino..... | 56 |
| 1.4 O arco do violino..... | 59 |
| 1.5 Elementos da acústica do violino | 62 |
| 1.5.1 <i>Natureza do movimento ondulatório da corda friccionada por arco: Movimento de Helmholtz</i> | 62 |
| 1.5.2 <i>Ressonância de Helmholtz</i> | 64 |
| 1.5.3 <i>Modos de vibração do corpo</i> | 65 |
| 1.5.4 <i>A caixa de ressonância e seus componentes internos</i> | 66 |
| 1.5.5 <i>O cavalete</i> | 68 |
| 1.6 A arcada: uma equação de três variáveis..... | 73 |
| 1.7 A resultante final: o som do violino | 75 |
| 2 A SURDINA DOS INSTRUMENTOS DE ARCO | 78 |
| 2.1 Descrição..... | 78 |
| 2.1.1 <i>Histórico de utilização das surdinas</i> | 80 |
| 2.1.1.1 <i>Primeiros registros</i> | 80 |
| 2.1.1.2 <i>Natureza e função original das surdinas</i> | 84 |
| 2.1.2 <i>Tipos de surdinas e seu uso</i> | 89 |
| 2.1.3 <i>As surdinas na literatura musical</i> | 94 |
| 2.2 A pesquisa científica sobre surdinas de violino..... | 99 |
| 2.2.1 <i>Menções e utilização em trabalhos com outros objetos de estudo</i> | 100 |
| 2.2.2 <i>Pesquisas que tem as surdinas como objeto direto de estudo</i> | 118 |
| 2.3 Estado da técnica de surdinas para violino | 127 |

| | | |
|--|---|------------|
| 2.4 | Questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas..... | 135 |
| 2.5 | Resumo Crítico..... | 142 |
| PARTE II – ANÁLISE DOS EFEITOS ACÚSTICOS DAS SURDINAS | | 146 |
| 3 | METODOLOGIA DE PESQUISA | 146 |
| 3.1 | Violinos utilizados na pesquisa..... | 146 |
| 3.2 | Surquinas originais analisadas na pesquisa..... | 147 |
| 3.2.1 | <i>Surquinas de performance fixadas ao cavalete</i> | <i>147</i> |
| 3.2.1.1 | <i>Surquina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)</i> | <i>148</i> |
| 3.2.1.2 | <i>Surquina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)</i> | <i>149</i> |
| 3.2.1.3 | <i>Surquina Heifetz (sdHfz)</i> | <i>150</i> |
| 3.2.1.4 | <i>Surquina de ébano menor com três dentes (sdEbpq).....</i> | <i>151</i> |
| 3.2.1.5 | <i>Surquina de ébano maior com três dentes (sdEbgd).....</i> | <i>152</i> |
| 3.2.1.6 | <i>Surquina de madeira leve com três dentes (sdMd).....</i> | <i>153</i> |
| 3.2.2 | <i>Surquinas de performance fixadas às cordas</i> | <i>154</i> |
| 3.2.2.1 | <i>Surquina tubular Sihon (sdCdTb).....</i> | <i>154</i> |
| 3.2.2.2 | <i>Surquina Super Sensitive Spector (sdCdSp).....</i> | <i>155</i> |
| 3.2.2.3 | <i>Surquina Alpine (sdCdAp).....</i> | <i>156</i> |
| 3.2.3 | <i>Surquinas de estudo (abafadores).....</i> | <i>157</i> |
| 3.2.3.1 | <i>Abafador preto de borracha (abfBor1).....</i> | <i>159</i> |
| 3.2.3.2 | <i>Abafador vermelho de borracha (abfBor2).....</i> | <i>159</i> |
| 3.2.3.3 | <i>Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0)</i> | <i>160</i> |
| 3.2.3.4 | <i>Abafador de metal (abfMt1).....</i> | <i>161</i> |
| 3.2.3.5 | <i>Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2)</i> | <i>162</i> |
| 3.3 | Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surquinas: análise da influência dos diferentes fatores de construção dos dispositivos em seus efeitos | 163 |
| 3.3.1 | <i>Estudo um: variação do material de confecção e/ou peso em surquinas com mesmo formato e mesmo acoplamento com o cavalete</i> | <i>164</i> |
| 3.3.1.1 | <i>Dispositivos de formato similar feitos de mesmo material com pesos diferentes.....</i> | <i>164</i> |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3.1.2 | <i>Dispositivos de mesmo formato e peso similar, feitos com diferentes materiais.....</i> | 164 |
| ➤ | <i>Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx).....</i> | 164 |
| ➤ | <i>Réplica de resina epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEb1pq).....</i> | 165 |
| 3.3.1.3 | <i>Dispositivos feitos com materiais diferentes e pesos diferentes</i> | 165 |
| ➤ | <i>Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb)..</i> | 166 |
| ➤ | <i>Réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq)</i> | 166 |
| ➤ | <i>Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2).....</i> | 166 |
| 3.3.2 | <i>Estudo dois: variação do número e/ou posicionamento dos pontos de contato e da área de contato com o cavalete.....</i> | 166 |
| 3.3.2.1 | <i>Alteração do número de dentes que entram em contato com o cavalete em diferentes acoplamentos.....</i> | 167 |
| 3.3.2.2 | <i>Alteração da área de contato com o cavalete por meio de menor inserção dos dentes dos dispositivos no mesmo.....</i> | 168 |
| 3.3.3 | <i>Estudo três: diferentes configurações de uso de partes de um dispositivo segmentado</i> | 168 |
| 3.4 | <i>Amostragem do som dos violinos.....</i> | 169 |
| 3.4.1 | <i>Extensão do instrumento analisada</i> | 170 |
| 3.4.2 | <i>Protocolo de execução instrumental das amostras.....</i> | 171 |
| 3.4.2.1 | <i>Condições gerais.....</i> | 171 |
| 3.4.2.2 | <i>Execução instrumental</i> | 173 |
| 3.4.2.3 | <i>Critérios para a definição do protocolo de execução instrumental.....</i> | 174 |
| 3.4.3 | <i>Registro de áudio das amostras.....</i> | 176 |
| 3.4.3.1 | <i>Interface de áudio utilizada.....</i> | 176 |
| 3.4.3.2 | <i>Microfone utilizado.....</i> | 176 |
| 3.4.3.3 | <i>Protocolo de gravação</i> | 178 |
| 3.4.4 | <i>Número de executantes e de takes para cada condição de estudo</i> | 179 |
| 3.4.5 | <i>Formato final e número das amostras de áudio.....</i> | 180 |
| 3.5 | <i>Descritores utilizados para extração de informação do áudio</i> | 180 |
| 3.5.1 | <i>Loudness (intensidade ponderada do sinal acústico).....</i> | 180 |
| 3.5.2 | <i>LTAS (Long Term Average Spectrum).....</i> | 182 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.5.3 | <i>SMS e análise comparativa dos percentuais de participação do residual não harmônico em relação ao áudio original</i> | 183 |
| 3.6 | Processamento de dados..... | 186 |
| 4 | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS | 189 |
| 4.1 | Dados obtidos nas 32 condições de estudo analisadas..... | 191 |
| 4.1.1 | <i>Condição de controle (sem utilização de nenhum tipo de surdina)</i> | 191 |
| 4.1.2 | <i>Surdinas de performance fixadas ao cavalete</i> | 193 |
| 4.1.2.1 | <i>Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)</i> | 193 |
| 4.1.2.2 | <i>Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)</i> | 195 |
| 4.1.2.3 | <i>Surdina Heifetz (sdHfz)</i> | 197 |
| 4.1.2.4 | <i>Surdina de ébano menor com três dentes (sdEbpq)</i> | 199 |
| 4.1.2.5 | <i>Surdina de ébano maior com três dentes (sdEbgd)</i> | 201 |
| 4.1.2.6 | <i>Surdina de madeira leve com três dentes (sdMd)</i> | 203 |
| 4.1.3 | <i>Surdinas de performance fixadas às cordas</i> | 205 |
| 4.1.3.1 | <i>Surdina tubular Sihon (sdCdTb)</i> | 205 |
| 4.1.3.2 | <i>Surdina Spector (sdCdSp)</i> | 207 |
| 4.1.3.3 | <i>Surdina Alpine (sdCdAp)</i> | 209 |
| 4.1.4 | <i>Surdinas de estudo (abafadores)</i> | 211 |
| 4.1.4.1 | <i>Abafador preto de borracha (abfBor1)</i> | 211 |
| 4.1.4.2 | <i>Abafador vermelho de borracha (abfBor2)</i> | 213 |
| 4.1.4.3 | <i>Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0)</i> | 215 |
| 4.1.4.4 | <i>Abafador de metal (abfMt1)</i> | 217 |
| 4.1.4.5 | <i>Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2)</i> | 219 |
| 4.1.5 | <i>Réplicas e dispositivos alterados a partir da surdina de ébano menor (sdEbpq)</i> | 221 |
| 4.1.5.1 | <i>Réplica de epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq)</i> | 221 |
| 4.1.5.2 | <i>Réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq)</i> | 223 |
| 4.1.5.3 | <i>Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx)</i> | 225 |
| 4.1.5.4 | <i>Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb)</i> .. | 227 |
| 4.1.5.5 | <i>Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Sol/Ré (sdEblGD)</i> | 229 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.1.5.6 | <i>Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Ré/Lá (sdEb1dDA)</i> | 231 |
| 4.1.5.7 | <i>Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Lá/Mi (sdEb1dAE)</i> | 233 |
| 4.1.5.8 | <i>Surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEb2dpG)</i> | 235 |
| 4.1.5.9 | <i>Surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEb2dpE)</i> | 237 |
| 4.1.5.10 | <i>Surdina de ébano menor com dois dentes afastados acoplada entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEb2ds)</i> | 239 |
| 4.1.5.11 | <i>Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEbSegGDDA)</i> | 241 |
| 4.1.5.12 | <i>Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE)</i> | 243 |
| 4.1.5.13 | <i>Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE)</i> | 245 |
| 4.1.5.14 | <i>Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de três dentes, entre as cordas Sol/Ré, Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegGDDAAE)</i> | 247 |
| 4.1.6 | <i>Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2)</i> | 249 |
| 4.1.7 | <i>Surdinas inseridas parcialmente no cavalete</i> | 251 |
| 4.1.7.1 | <i>Surdina Heifetz inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP)</i> | 251 |
| 4.1.7.2 | <i>Abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P)</i> | 253 |
| 4.2 | <i>Controle de amostragem</i> | 255 |
| 4.2.1 | <i>Glissandos</i> | 255 |
| 4.2.2 | <i>Direção das arcadas e LTAS</i> | 257 |
| 4.2.3 | <i>Comparação entre os violinos</i> | 259 |
| 4.2.4 | <i>Comparação entre os executantes</i> | 264 |
| 4.3 | <i>Análise comparativa entre as 14 surdinas originais amostradas</i> | 265 |
| 4.3.1 | <i>Observações gerais</i> | 266 |
| 4.3.2 | <i>Análise comparativa entre as duas surdinas de borracha (sdBor1 e sdBor2) e a Heifetz (sdHfz)</i> | 272 |

| | | |
|---------|---|------------|
| 4.3.3 | <i>Análise comparativa entre as três surdinas de madeira (sdEbpq, sdEbgd e sdMd).....</i> | 274 |
| 4.3.4 | <i>Análise comparativa entre as três surdinas fixadas às cordas (sdCdTb, sdCdSp e sdCdAp).....</i> | 277 |
| 4.3.5 | <i>Análise comparativa entre as cinco surdinas de estudo/abafadores (abfbor1, abfBor2, abfMt0, abfMt1 e abfMt2).....</i> | 279 |
| 4.4 | Análise dos resultados das prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas | 283 |
| 4.4.1 | <i>Análise dos resultados do Estudo um.....</i> | 283 |
| 4.4.1.1 | <i>Dispositivos de formato similar feitos de mesmo material com pesos diferentes.....</i> | 283 |
| 4.4.1.2 | <i>Dispositivos de mesmo formato e peso similar, feitos com diferentes materiais.....</i> | 287 |
| 4.4.1.3 | <i>Dispositivos de mesmo formato feitos com materiais diferentes e pesos diferentes.....</i> | 291 |
| 4.4.2 | <i>Análise dos resultados do Estudo dois.....</i> | 296 |
| 4.4.2.1 | <i>Alteração do número de dentes que entram em contato com o cavalete em diferentes acoplamentos.....</i> | 296 |
| 4.4.2.2 | <i>Alteração da área de contato com o cavalete por meio de menor inserção dos dentes dos dispositivos no mesmo.....</i> | 306 |
| 4.4.3 | <i>Análise dos resultados do Estudo três: diferentes configurações de uso de partes de um dispositivo segmentado</i> | <i>311</i> |
| 4.5 | Resumo com as diretrizes gerais observadas no funcionamento das surdinas..... | 315 |
| 4.5.1 | <i>Considerações sobre a propriedade interativa das características físicas das surdinas.....</i> | 317 |
| 4.5.2 | <i>Considerações sobre a relação entre transferência de energia para as baixas frequências e a atenuação nas surdinas de estudo pesadas.....</i> | 318 |
| | | |
| | PARTE III: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SURDINA MODULAR MULTIFUNCIONAL | 321 |
| 5 | CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO..... | 321 |

| | | |
|----------------|---|------------|
| 5.1 | Avaliação preliminar de algumas configurações de uso da surdina modular multifuncional | 326 |
| 5.1.1 | <i>Configurações com um módulo de resina.....</i> | 329 |
| 5.1.1.1 | <i>Sem preenchimento (1,04 gramas).....</i> | 329 |
| 5.1.1.2 | <i>Com preenchimento de borracha (1,54 gramas)</i> | 331 |
| 5.1.2 | <i>Configuração com dois módulos de resina sem preenchimento (2,08).....</i> | 334 |
| 5.1.3 | <i>Configurações com três módulos de resina</i> | 336 |
| 5.1.3.1 | <i>Sem preenchimento (3,12 gramas).....</i> | 337 |
| 5.1.3.2 | <i>Com preenchimento de borracha, ébano e chumbo (4,42, 4,44 e 9,52 gramas, respectivamente).....</i> | 339 |
| 5.1.4 | <i>Configurações com um módulo de metal sem preenchimento (4,75 gramas) ...</i> | 342 |
| 5.1.5 | <i>Configurações com três módulos de metal.....</i> | 345 |
| 5.1.5.1 | <i>Sem preenchimento (14,25 gramas)</i> | 346 |
| 5.1.5.2 | <i>Com preenchimento de borracha e chumbo (15,55 e 22,65 gramas, respectivamente).....</i> | 348 |
| 5.1.6 | <i>Configurações com dois módulos de resina intercalados com um de metal sem e com preenchimento de ébano (7,55 e 8,87 gramas, respectivamente).....</i> | 351 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 355 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | 359 |
| | APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO – USO DE SURDINAS EM INSTRUMENTOS DE CORDAS | 367 |
| | APÊNDICE B – PROTOCOLO DE EXECUÇÃO INSTRUMENTAL PARA AMOSTRAGEM DE ÁUDIO DA PESQUISA | 374 |
| | APÊNDICE C – DEMONSTRAÇÃO EM PERFORMANCE ARTÍSTICA DA SURDINA MODULAR MULTIFUNCIONAL | 379 |
| | ANEXO A – LISTA DE PATENTES DE SURDINAS | 382 |

INTRODUÇÃO

Apresentação da proposta de pesquisa

Quando ouvimos o som de um violino geralmente não nos apercebemos conscientemente da incrível quantidade de informação que está contida nessa sorte de canto, por vezes tão arrebatador, gerado na improvável interação entre o atrito e a tensão: o arco e as cordas. Nas nuances da complexa onda sonora gerada pela fricção das cordas e pela interação dessas vibrações com seus demais componentes físicos – um intrincado mosaico no qual o sutil controle do arco é capaz de mudar drasticamente a maneira como a energia do som se espalha pelo espectro harmônico – os instrumentos de cordas friccionadas se destacam por incorporarem, na própria estrutura de sua sonoridade, em seu próprio timbre, toda uma gama de variadas possibilidades expressivas. Talvez, devido a isso, se dê tanta importância à excelência na construção desses instrumentos que, então, se tornam fontes de inesgotáveis descobertas sonoras; valorize-se tanto a eficiência dos arcos de alta qualidade, capazes de tornar possíveis as fantasias mais improváveis dos instrumentistas; invista-se tanto no desenvolvimento de sua técnica – essa caprichosa arte que permite transformar a energia do musicista em som por meio da complexa ação do arco sobre o instrumento.

No entanto, se há tanto investimento na qualidade da sonoridade e na prática dos instrumentos de arco utilizados na música de concerto atual, destoa completamente desse cenário a pouca atenção dada ao uso das surdinas. Recurso importante na paleta sonora das cordas, seja nos grandes conjuntos orquestrais dedicados à música sinfônica, seja na variedade de formações natural à música de câmara, há séculos seu uso incorporou-se à tradição das cordas da música de concerto ocidental, sobretudo a partir do século XIX, sendo empregada, em maior ou menor grau, por praticamente todos os grandes compositores que referenciam a música tradicional de concerto de origem europeia. No entanto, encontra-se a seu respeito apenas menções discretas nos manuais de orquestração (com raras exceções), sendo, igualmente, pouco comentada, muitas vezes nem citada, nos tratados de técnica instrumental. Seu uso dificilmente torna-se tema de discussão entre os membros dos conjuntos musicais, não obstante a enorme variedade de tipos de dispositivos disponíveis hoje para compra, com igualmente enorme variedade de efeitos possíveis na sonoridade do instrumento, seja em sua intensidade ou em seu timbre. Por outro lado, seu uso faz parte do cotidiano da maioria dos instrumentistas de corda da atualidade, ainda que em sua versão "para estudo" (abafadores), com as quais é necessário buscar o melhor equilíbrio entre a atenuação da intensidade, muitas

vezes necessária para permitir o estudo, e os prejuízos que a alteração excessiva da sonoridade traz para a prática do instrumento. Também passa despercebida à maioria dos músicos a grande potencialidade do eventual emprego desses abafadores em performance, cuja sonoridade tão característica ainda é pouco explorada no repertório contemporâneo.

Ao serem acrescentadas ao complexo sistema acústico constituído pelas cordas, cavalete e corpo do instrumento, as surdinas desencadeiam uma série de alterações no comportamento vibratório do cavalete, um dispositivo cujo funcionamento, por si só, representa um espantoso exemplo da engenhosidade dedicada à arte da luteria. A maneira como atuam e os fatores que determinam seus efeitos são ainda pouco estudados, tanto quanto as suas variadas possibilidades de uso por parte de compositores e intérpretes, seja a nível individual ou coletivo. Se foram concebidas inicialmente como um pragmático meio de controle da intensidade de instrumentos musicais, é nas múltiplas colorações que podem acrescentar ao timbre dos instrumentos que encontraram seu lugar na performance musical, já há bom tempo. E uma das abordagens possíveis para se compreender como elas passam a participar da criação sonora dos instrumentos é investigar a assinatura acústica que imprimem ao som dos mesmos.

O presente trabalho dá sequência à pesquisa exploratória iniciada em mestrado concluído em 2019 (DA SILVA EVANGELISTA, 2019), pelo Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais, que analisou os efeitos de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos, por meio de um estudo comparativo das alterações na intensidade e na distribuição espectral (análises de espectros isolados e LTAS²) resultantes do uso dos três dispositivos em relação à sonoridade original dos instrumentos. Tendo sido definidos procedimentos metodológicos que se mostraram eficientes para a coleta de dados e diferenciação das distintas condições de estudo analisadas, tal abordagem também permitiu estabelecer, por meio da aplicação de uma Análise de Variância (ANOVA), a maior relevância dos tipos de surdina na alteração da sonoridade do violino quando comparados aos efeitos causados por diferentes instrumentos ou diferentes instrumentistas, corroborando a eficiência do protocolo estabelecido para execução e gravação das amostras. Diante do grande potencial de pesquisa revelado por esse trabalho inicial, que aborda, na verdade, um objeto de estudo multifacetado, dada a enorme variedade de tipos de surdinas disponíveis, a complexidade das interações entre suas características físicas específicas, suas diferentes possibilidades de uso e os efeitos distintos que geram, ficou evidente a necessidade da continuidade do trabalho.

²*Long Term Average Spectrum*: “Espectro Médio de Longo Termo” (tradução nossa), será descrita na seção correspondente. Alguns autores substituem “*term*” por “*time*”, quando então a expressão poderia ser traduzida como “Espectro Médio de Período Longo”.

Assim, a presente pesquisa de doutorado, buscando conectar todos os elementos pertinentes ao estudo das surdinas de violino, estabeleceu como motivação principal verificar a possibilidade de se empregar dados objetivos extraídos do áudio (através dos processos de amostragem e análise implementados) no desenvolvimento de um novo protótipo de surdina, que produza efeitos passíveis de, em certa medida, serem controlados ou pré-definidos, a partir de suas características físicas. Para tanto, entender, tanto quanto possível, as contribuições específicas de tais características (peso, material de construção, acoplamento com o cavalete) tornou-se essencial.

Não obstante o enorme desafio representado por tal projeto, eminentemente de abordagem empírica, onde diversos campos de saber (da análise computacional de áudio à pesquisa prática de diferentes materiais utilizados para confecção dos dispositivos) necessitam interagir de maneira orgânica, a imensa riqueza de informação gerada pelo simples desenvolvimento metodológico da pesquisa já justifica o esforço. Embora os limites de recursos, tempo, equipe de trabalho e mesmo do escopo de um projeto de doutorado não favoreçam o desenvolvimento comercial de um produto final a partir do protótipo proposto, a criação e análise dos efeitos do mesmo, ainda que confeccionado com muitas limitações, demonstra a pertinência da metodologia desenvolvida. Oportunamente novos produtos poderão ser produzidos em condições mais adequadas, a partir do dispositivo desenvolvido no projeto.

Tendo em mente a produção de um texto que permita a compreensão de todo o processo da pesquisa desenvolvida, possibilitando o acesso ao trabalho por musicistas menos familiarizados com pesquisas acústicas quantitativas e por pessoas com pouco conhecimento sobre música, várias notas e explicações técnicas de conceitos básicos são inseridas em seu decorrer. A tese, organizada em três partes, inclui na primeira destas (*Contexto da pesquisa: revisão bibliográfica*) uma revisão e atualização dos capítulos da dissertação de mestrado referentes à apresentação do violino e das surdinas³. Suas estruturas originais são mantidas, constando, no Capítulo 1, uma breve descrição das características acústicas do violino e referências bibliográficas acerca das pesquisas sobre o instrumento e, no Capítulo 2, dedicado às surdinas, além de sua descrição e informação acerca de sua utilização histórica, uma revisão bibliográfica crítica, consideravelmente ampliada, da pesquisa sobre surdinas, sendo acrescentadas uma subseção relativa ao *Estado da técnica de surdinas de violino*, na qual serão

³ Capítulos 2 *O violino* e 3 *A surdina dos instrumentos de arco* da dissertação de mestrado (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, p. 32 a 75). Foi, também, eventualmente aproveitado, no texto da tese, material produzido para diferentes artigos apresentados ao longo do doutorado, por estarem inseridos diretamente no processo de desenvolvimento da pesquisa.

comentadas brevemente, por meio das patentes registradas de surdinas, o desenvolvimento dos dispositivos desde o século XIX, e, fechando o capítulo, um *Questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas*, complementando, assim, a caracterização do objeto de estudo.

A segunda parte do texto, *Análise dos efeitos acústicos das surdinas* está dividida, também, em dois capítulos: *Metodologia de pesquisa* (Capítulo 3) e *Apresentação e análise de resultados* (Capítulo 4). Na *Metodologia de pesquisa* é descrito todo o processo desenvolvido para a análise de áudio (matéria prima do presente trabalho), sendo apresentados os dois instrumentos utilizados nas gravações e as 14 diferentes surdinas (nove dispositivos de performance e cinco de estudo/abafadores), todas comercializadas atualmente. Em seguida, são detalhadas as *Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas*, estratégias desenvolvidas para analisar a influência dos diferentes fatores de construção dos dispositivos em seus efeitos. Processo extremamente desafiador, dada a natureza interativa dos diferentes componentes físicos das surdinas em seus efeitos, e que ampliou bastante o número de análises necessárias para o projeto. Nas subseções seguintes todo o processo de amostragem é detalhado: a extensão do instrumento analisada, os protocolos de execução instrumental e gravação, os descritores acústicos utilizados para as análises e o tratamento dos dados. Importante observar que a amostragem continuou a ser feita (como no modelo utilizado no mestrado e demais trabalhos) em situação de ausência de elementos de expressão artística, com foco na padronização dos procedimentos para a uniformização e estabilidade das condições de execução, e, conseqüentemente, da sonoridade obtida em uma dada condição de execução, possibilitando, assim, a obtenção de dados parametrizados. Manteve-se a perspectiva, adotada no mestrado, de gerar um banco de dados sonoro com o registro de áudio gravado sob condições controladas, representativo da sonoridade do violino (em uma condição de execução específica), sem e com o uso das surdinas, que poderá ser empregado em outros estudos, sejam ligados à acústica, ou a outros campos da musicologia, incluída, também, a performance musical. No quarto capítulo, encerrando essa parte da tese, são apresentados os resultados obtidos com o emprego dos descritores acústicos aplicados à amostragem, tanto das surdinas originais quanto das prospecções, seguidos de quadros comparativos entre as diferentes condições de estudo, análises e da discussão acerca dos resultados apresentados.

Na terceira e última parte do texto, *Desenvolvimento de um protótipo de surdina modular multifuncional*, o Capítulo 5 descreve o protótipo modular desenvolvido, sua concepção e uma análise preliminar de algumas de suas configurações de uso, amostradas

segundo o mesmo modelo de execução instrumental descrito na segunda parte. E, por fim, são apresentadas as *Considerações Finais* acerca de todo o processo, avaliando tanto os resultados obtidos, quanto as perspectivas de desenvolvimento de novas pesquisas correlatas ao tema.

Objetivos gerais

- Descrever a natureza e função das surdinas para cordas, especificamente as para violino, contextualizando-as historicamente na prática musical;
- Dar continuidade ao desenvolvimento de metodologia própria para pesquisa acerca da sonoridade dos instrumentos de arco (especificamente, no presente estudo, do violino) levando-se em conta toda a problemática envolvida no processo: condições de execução instrumental para amostragem, registro de áudio, processos de segmentação e outros recursos de análise computacionais e estatísticos, revisão bibliográfica, estratégias e propostas relevantes de discussão de resultados;
- Registrar, sob condições controladas, amostras de áudio de uma extensão determinada do instrumento, nas diferentes condições de estudo: sem surdina e com os diversos tipos de surdinas e configurações de uso analisados na pesquisa, em dois violinos;
- Buscar compreender de que maneira as surdinas influenciam o funcionamento do cavalete, alterando, conseqüentemente, a sonoridade do instrumento;
- Contribuir para o estudo geral do funcionamento acústico do violino, em especial, do cavalete e sua participação na composição do timbre do instrumento.

Objetivos específicos

- Analisar, por meio dos descritores acústicos selecionados, o efeito de 14 diferentes surdinas, atualmente comercializadas, na sonoridade de dois violinos;
- Desenvolver e executar estratégias que permitam isolar, tanto quanto possível, a influência de características físicas específicas das surdinas (material de confecção, peso e acoplamento com o cavalete – que inclui ponto(s) de contato, área de contato e força exercida sobre o cavalete) em seus efeitos na alteração na sonoridade dos instrumentos analisados;
- Desenvolver um protótipo de surdina multifuncional que, a partir das análises que relacionem características físicas isoladas com efeitos específicos na sonoridade,

produza padrões variáveis de alteração na sonoridade dos instrumentos, de acordo com suas diferentes configurações de uso.

PARTE I – CONTEXTO DA PESQUISA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 O VIOLINO

O presente capítulo apresenta uma sucinta descrição do violino, localizando o seu surgimento no cenário musical europeu, descrevendo suas características físicas básicas e seus princípios de funcionamento acústico. A revisão bibliográfica realizada não tem o objetivo de explorar exaustiva e criticamente os diversos estudos e contribuições (históricos, técnicos, musicais etc.) existentes sobre o violino, já que o instrumento não é o foco principal da pesquisa. Pretende-se apenas proporcionar a quem não esteja minimamente familiarizado com o violino um entendimento básico de sua natureza, de modo a facilitar a posterior compreensão da função e modo de ação das surdinas.

1.1 Breve histórico do instrumento

Não há consenso quanto à origem dos instrumentos de cordas friccionadas por arco, embora a maioria dos pesquisadores considere o mais provável que tenham tido sua origem no oriente, tendo chegado à Europa via Península Ibérica:

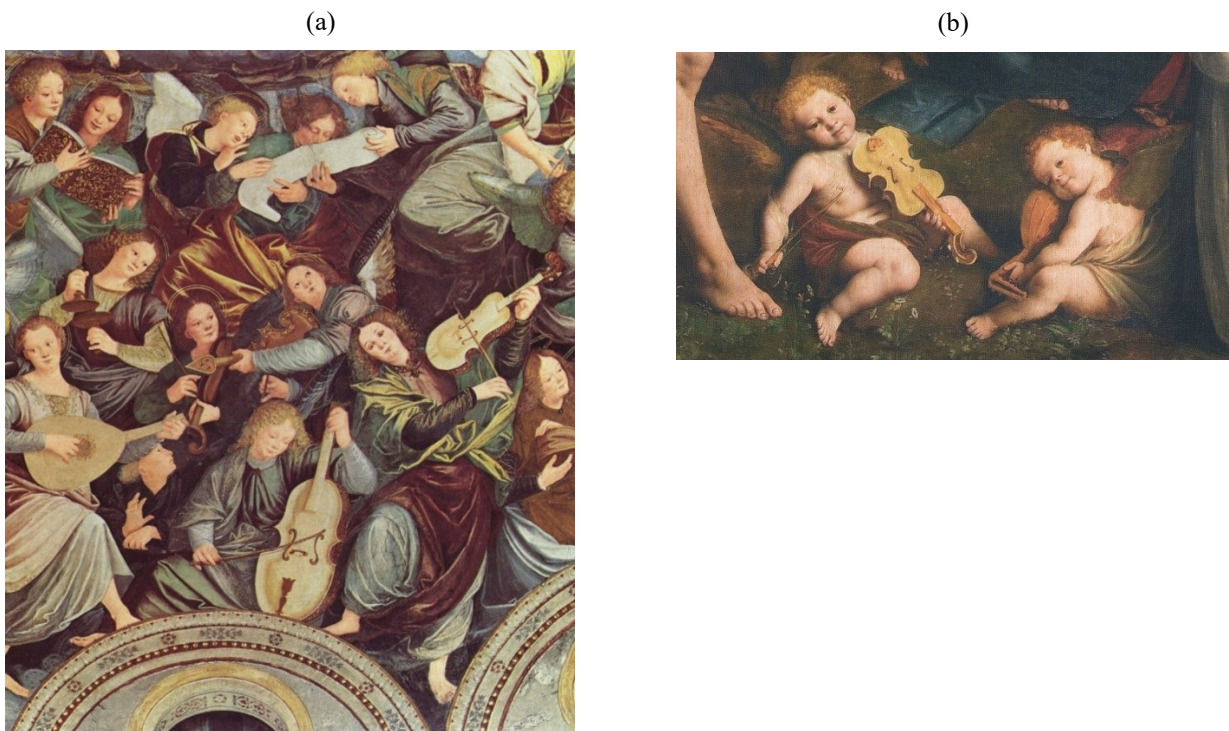
Os instrumentos de corda friccionada terão sido nos seus primórdios instrumentos de corda beliscada ou percutida. [...] presume-se que o arco tenha tido a sua origem no início da Idade-Média, séc. V, na Ásia central. É nesta localização e período, que se pensa ter surgido o primeiro instrumento com arco, que viria a possibilitar a evolução tecnológica que culminou no violino actual. É provável que o instrumento tenha partido desta localização em direcção ao seu destino, a Europa. (DAMAS, 2012, p. 20).

Os primeiros violinos, cuja forma veio a se fixar na atual, foram fabricados na Itália no início do séc. XVI. Teriam sido desenvolvidos a partir de instrumentos de cordas friccionadas, já utilizados na Europa, como o *rebec*, a *vielle* e a *lira da braccio*, usados em festas populares, geralmente, associados à dança (CASANOVA, 1987; DAMAS, 2012; ROSSING; MORRISON, 2010).

As mais antigas evidências pictóricas aceitas da presença do violino e sua família no começo do séc. XVI são as pinturas e afrescos do artista italiano Gaudenzio Ferrari (1480-1546), em igrejas próximas a Milão. Considerada a primeira representação conhecida de um violino, com apenas três cordas, mas já com suas características constitutivas presentes – como os *fs* no tampo (ainda que invertidos), braço acoplado à caixa acústica e cavalete – ‘*La Madonna*

degli aranci' (Fig.1.1-a), localizada na Igreja de San Cristoforo em Vercelli, foi feita pelo artista em 1529-30. O mais famoso desses trabalhos, porém, intitulado “*Il concerto degli angeli*” (Fig. 1.1-b), é um afresco pintado na cúpula da Catedral de Saronno, em 1535-6, onde estão representados, claramente, os três membros da nova família de instrumentos⁴: um violino, uma viola e um violoncelo (BOYDEN, 1990).

Figura 1.1 – (a) Detalhe de “*Il concerto degli angeli*” (1535-6), afresco pintado na cúpula da Catedral de Saronno, onde estão representados um violino, uma viola e um violoncelo e (b) Detalhe de “*La Madonna degli aranci*” (1529-30), localizada na Igreja de San Cristoforo, em Vercelli, obras de Gaudenzio Ferrari.



(fonte: (a) www.meisterdrucke.pt⁵ e (b) site Wikimedia Commons⁶)

⁴ O contrabaixo acústico (double bass, contrabass ou bass viol, em inglês), embora integre o conjunto das cordas friccionadas modernas, constituindo um naipe específico nas orquestras atuais, junto aos três outros naves dos membros da família do violino, não é considerado na literatura especializada como desenvolvido diretamente dessa família (ainda que tenha sido influenciado pela mesma), sendo, antes, ligado à anterior família das violas da gamba (HUTCHINS, 1962; MAGNANI, 1989; SIEMERS, 2001; FLETCHER; ROSSING, 2012). Além do formato ogivado de seu corpo, Fletcher e Rossing observam: “*The double bass (...) still retains features of the viol family: sloping shoulders, flat back, and tuning in fourths rather than fifths (E1, A1, D2, G2), and many instruments have five instead of four strings. Some players hold the bow in the manner of viol playing, with the hand underneath the stick*” (FLETCHER; ROSSING, 2012, pag. 319), em tradução livre: “O contrabaixo (...) ainda mantém características da família das violas: laterais superiores inclinadas, fundo plano e afinação em quartas em vez de quintas (Mi-1, Lá-1, Ré1, Sol1), e muitos instrumentos têm cinco em vez de quatro cordas. Alguns musicistas seguram o arco como se tocassem viola (da gamba), com a mão embaixo da vareta (arco alemão).” (tradução nossa)

⁵ Disponível em: <https://www.meisterdrucke.pt/impressoes-artisticas-sofisticadas/Gaudenzio-Ferrari/293832/O-Concerto-dos-Anjos,-1534-36-%28detalhe%29-%28ver-175762%29.html>. Acesso em: 25 jun. 2023.

⁶ Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Madonna_degli_aranci_-_Putti.jpg. Acesso em: 25 jun. 2023.

Segundo as fontes de pesquisa histórica consultadas⁷ é possível traçar uma cronologia dos principais nomes responsáveis pelo desenvolvimento da fabricação de violinos a partir do séc. XVI. Duas escolas italianas de luteria tornaram-se célebres: a escola de Brescia, com Gasparo Bertolotti - conhecido como Gasparo Da Salò (1540-1609), e a de Cremona, com Andrea Amati (c.1505-c.1578). Em Brescia, Giovanni Maggini (1580-1630), discípulo de Da Salò, chegou às formas atuais do violino e construiu os primeiros violoncelos. Em Cremona, a família Amati atingiu seu ápice com Nicola Amati (1596-1684), neto de Andrea Amati e mestre de Andrea Guarneri (1626-1698) e Antonio Stradivari (c.1644- 1737). Também importante *luthier* foi Bartolomeo Giuseppe Guarneri (1698-1744), conhecido como 'del Gesù', neto de Andrea Guarneri. Outros *luthiers* italianos importantes foram Carlo Bergonzi (Cremona, 1683-1747), Giovanni Battista Guadagnini (Piacenza/Milão, 1711-1786), Giovanni Tononi (Bologna, 1650-1713), Giovanni Grancino (Milão, 1637-1709), Domenico Montagnana (Veneza, 1686-1750), Carlos Antonio Testore (Milão, 1693-1765), Sanctus Seraphin (Udine/Veneza, 1699-1758) (DAMAS, 2012). Guarneri del Gesù e Antonio Stradivari permanecem como os dois maiores mitos da arte da luteria italiana de violino de todos os tempos.

Figura 1.2 – Mapa com cidades que foram importantes no começo da história do violino.



(fonte: BOYDEN, 1990, p. 27)

⁷ Sobretudo, o livro de David Dodge Boyden, *The History of Violin Playing from its Origins to 1761: and its Relationship to the Violin and Violin Music* (BOYDEN, 1990) e a dissertação de mestrado de Carlos Alexandre Mourão de Carvalho Damas, *Violino e tecnologia: origem e evolução tecnológica entre os séculos XV e XXI* concluída na Universidade Nova de Lisboa, na qual foi reunida uma ampla bibliografia acerca do tema (DAMAS, 2012).

Além da Itália, a arte da luteria desenvolveu-se em outros países e regiões (Fig. 1.2), sendo *luthiers* importantes de outras escolas Jacob Stainer (1617-1683), fabricante austríaco da região do Tyrol, Matthias Klotz (1653-1743) e seus filhos, sobretudo Sebastian Klotz (1696-1775), da região de Mittenwald (Alemanha); o modelo desenvolvido por Matthias reunia características já presentes nos violinos de Amati e Stainer. Na França, a 50km da cidade de Nancy, na aldeia de Mirecourt, surgiu uma escola de fabricação de violinos na segunda metade do século XVII, cuja concepção tecnológica diferia daquela dos mestres da escola italiana: os instrumentos ali produzidos possuíam uma sonoridade mais suave, o que lhes valia, eventualmente, críticas quanto à qualidade. Outro importante autor francês foi Nicolas Lupot (Stuttgart/Alemanha, 1758-1824), que se estabeleceu em Paris em 1794, quando começavam a chegar à França violinos italianos, atraindo particular interesse, os instrumentos de Antonio Stradivari. Neste contexto, Lupot teve contato com tais instrumentos, o que lhe permitiu estudá-los em detalhe. Jean Baptiste Vuillaume (Mirecourt, 1798-1875) foi outro construtor de relevo na época. Vuillaume, também estabelecido em Paris, teve contato com os instrumentos italianos e os estudou detidamente, começando a copiá-los. Considera-se que sua habilidade era de tal forma perfeita, que muitas das cópias que fez de alguns dos mestres italianos foram vendidas como instrumentos italianos originais. Na região onde hoje é a Bélgica, Ambroise de Comble (Ittre/Tournai, 1723-1796) é considerado o primeiro a ter utilizado o modelo de Stradivari, constando, inclusive, ter sido aluno do mesmo. Na Holanda, Theodorus Cuypers (Haia, 1724-1808), foi considerado o nome mais expressivo na arte da luteria. Na Inglaterra, os mais importantes *luthiers* foram Benjamin Banks (Londres, 1750-1795), Richard Duke (Londres, ~-1780) John Edward Betts (Londres, 1755-1823) e Joseph Hill (Londres, 1715-1784), considerado o mais importante dos fabricantes de violino ingleses. Ele fundou uma dinastia de *Luthiers* que continua até nossos dias, com o nome de Joseph Hill & Sons. (DAMAS, 2012)

1.2 Abordagem científica do instrumento

Pode-se dizer que o interesse pelo funcionamento dos instrumentos de cordas se iniciou há muitos séculos. Desde as primeiras observações de Pitágoras (séc. VI A.C.), que estabeleceu a matemática na cultura grega e estudou a vibração das cordas e os sons musicais, tendo concluído que ao se dividir o comprimento de uma corda vibrante por frações simples do mesmo (metades, terços etc.) são produzidos intervalos musicais consonantes (ROSSING; MORRISON, 2010), passando pelos séc. XVI e XVII, quando Galileo Galilei (1564-1642) e Marin Mersenne (1588-1648) destacaram-se como pioneiros na pesquisa científica moderna a

respeito da vibração das cordas, esse interesse tem se renovado sempre. Mersenne afirmava já então ser possível escutar-se pelo menos quatro harmônicos a partir de uma corda em vibração. Em sua obra *Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique* (MERSENNE, 1636) o teórico francês descreve de maneira detalhada os instrumentos do seu tempo, inclusive o violino. A ação de aderência e deslizamento (*stick/slip*) do arco nas cordas parece ter sido reconhecida primeiro pelo matemático e físico francês Jean-Marie Duhamel (FLETCHER; ROSSING, 2012).

O violino, especificamente desde o séc. XIX, tem sido alvo de inúmeras pesquisas e trabalhos científicos e seu funcionamento acústico vem sendo descrito em suas várias facetas desde então. São nomes importantes na pesquisa acerca do instrumento: o físico francês Félix Savart (1791-1841), considerado um dos pioneiros na matéria, que trabalhou, por vezes, em colaboração com o renomado *luthier* Jean-Baptiste Vuillaume (1798-1875); o fisiologista e físico alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), que elucidou a natureza da vibração da corda excitada por um arco (*bowed string*), diferenciando-a daquela produzida pela corda tangida (*plucked string*) – dentre inúmeras outras contribuições na área da acústica; sua obra *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music* (original em alemão *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, publicado pela primeira vez em 1863) é considerada um marco no desenvolvimento da área; Lord Rayleigh (John William Strutt, 1842-1919), que estabeleceu as bases da pesquisa moderna da acústica de instrumentos musicais; o indiano Chandrasekhara V. Raman (1888-1970), que estudou detalhadamente as vibrações resultantes da corda excitada por um arco; Frederick Albert Saunders (1875-1963) que foi pioneiro nos Estados Unidos nas pesquisas acerca do instrumento, tendo fundado em 1963, junto a Carleen Hutchins, John Schelleng e Robert Fryxell a *Catgut Acoustical Society* (CAS), organização que promoveu a pesquisa a respeito do instrumento por todo o mundo, contando, entre seus feitos, com o desenvolvimento do octeto de violinos, um conjunto em escala de oito instrumentos constituindo uma nova família para o violino (HUTCHINS, 1967 apud FLETCHER; ROSSING, 2012); e, no fim do séc. XX, Lothar Cremer (1905-1990), com a obra, *The Physics of the Violin*, de 1981, um compêndio que abarca todo o conhecimento físico sobre a acústica do instrumento reunido desde o século XIX. Com o grande desenvolvimento da tecnologia digital ocorrido nas últimas décadas, inúmeras novas ferramentas foram disponibilizadas para esse campo de pesquisa, auxiliando nas atividades de vários estudiosos que trabalham na caracterização e modelagem das propriedades acústicas do violino, dentre os quais se pode citar: George Bissinger e Robert Schumacher (EUA), Erik

Jansson (Suécia), Collin Gough e Jim Woodhouse (Grã Bretanha), Xavier Boutillon (França), John McLennan (Australia) e Akihiro Matsutani (Japão) (DONOSO et al., 2008).

1.3 Características físicas do violino

Instrumento de cordas friccionadas, o violino é classificado dentro da sistemática Hornbostel/Sachs⁸ sob o código 321.322-71, como um cordofone composto, organicamente construído com um ressonador acoplado a um braço, pertencendo ao grupo dos alaúdes (instrumentos com as cordas dispostas paralelamente à caixa de ressonância) com braço integrado ao corpo, sendo a fricção das cordas, por meio de um arco, o mecanismo principal para geração do som (MIMO CONSORTIUM, 2011).

Membro mais agudo dentre as cordas friccionadas modernas, possui quatro cordas, contadas da mais fina para a mais grossa⁹, afinadas por quintas justas: 1ª Mi4: 659,26 Hz; 2ª Lá3: 440 Hz; 3ª Re3: 293,66 Hz; e 4ª Sol2: 196 Hz¹⁰. Sua extensão usual vai do Sol2 ao Lá5/Si5 (7ª posição), embora alcance ainda quase uma oitava acima, porém, de uso mais restrito devido às dificuldades técnicas para emissão do som nessa região.

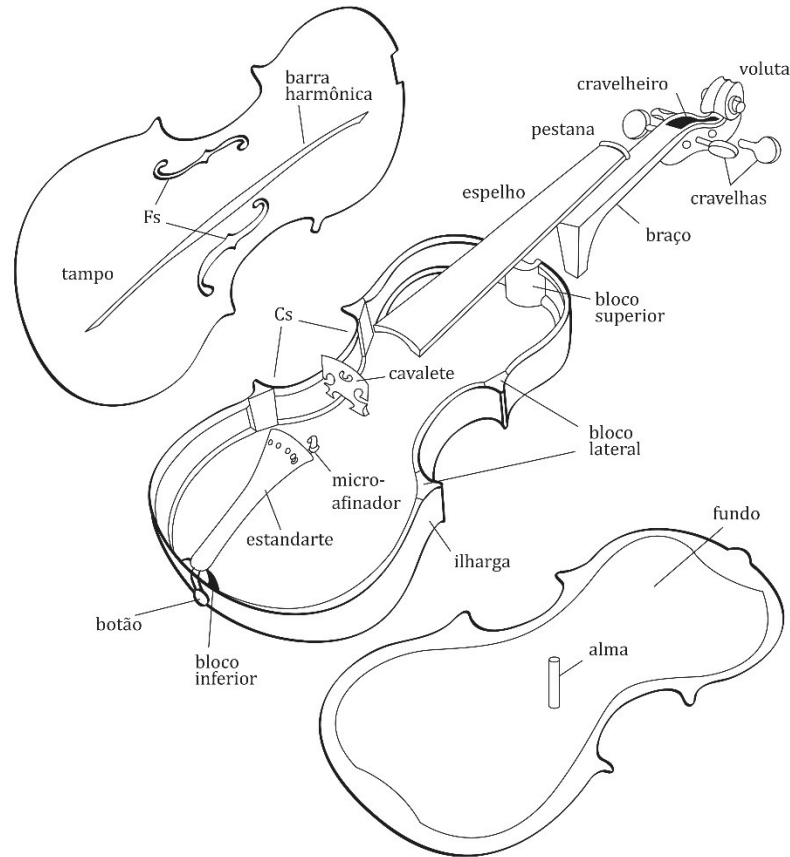
Construído com cerca de 80 peças (BRITO; BRITO, 2009; REBELLO, 2011), quase todas de madeira, de diferentes espécies, escolhidas de acordo com sua função, o instrumento, de montagem aparentemente simples, constitui um exemplo de excepcional excelência em termos de design artístico e técnica (Fig. 1.3): “A forma do instrumento constitui um exemplo de desenho do renascimento italiano, com as considerações de equilíbrio de superfícies e de volumes típicas da época.” (DONOSO et al., 2008, p. 2305.3)

⁸ Os pesquisadores Erich M. von Hornbostel e Curt Sachs formularam, em 1914, o esboço de uma sistemática para os instrumentos musicais, que, diferentemente de uma classificação, procura ordenar os elementos existentes de um conjunto de grandezas relacionadas, estabelecendo os critérios em que se encaixam estes elementos, formando *a priori* – e não *a posteriori*, como a classificação – um quadro total e de validade geral, para todas as variantes possíveis, inclusive, para aquelas ainda não verificáveis na prática. Apesar de quase centenária, até hoje é uma referência importante no estudo antropológico dos instrumentos musicais. (PINTO, 2001)

⁹ “A numeração das cordas, em todos os instrumentos, quer de arco, quer de cordas *pizzicatas*, isto é, feridas diretamente com o dedo ou com um plectro, procede sempre da mais aguda para a mais grave.” (MAGNANI, 1989, p. 242)

¹⁰ Será adotada em toda a tese a numeração de oitavas brasileira, que atribui ao Dó central (262 Hz), o número 3. As frequências aqui indicadas se referem à afinação de temperamento igual.

Figura 1.3 – Esquema representando as partes básicas de um violino.



(fonte: ilustração de Rubem Filho, adaptada de GUILLOUX, 1996)

A parte principal de seu corpo é constituída por uma estrutura oca (a caixa de ressonância) cuja parte superior é conhecida como tampo e a inferior como fundo. O tampo é, tradicionalmente, feito com abeto (*Picea abies* ou *Picea excelsis*), madeira muito elástica, firme e resistente; o fundo utiliza em sua fabricação duas espécies de aceráceas, *Acer campestre* e *Acer platanoides*, que apresentam densidade e rigidez maiores que as do abeto. As duas superfícies são arqueadas, unidas periféricamente pelas ilhargas (tiras de madeira que compõem as laterais do instrumento, vide Fig. 1.3). No tampo superior são feitos dois orifícios na forma de *fs* estilizados, localizados, simetricamente, aos lados do cavalete. A forma destas aberturas, que impactam no timbre do violino, pode ter sido influenciada pela tipologia cursiva, também conhecida como itálico, que foi inventada pelo tipógrafo italiano Aldo Manuzio (1450-1515) (DONOSO et al., 2008).

Embora as dimensões dos violinos variem um pouco, de acordo com os diferentes construtores, o comprimento longitudinal da caixa é geralmente de cerca de

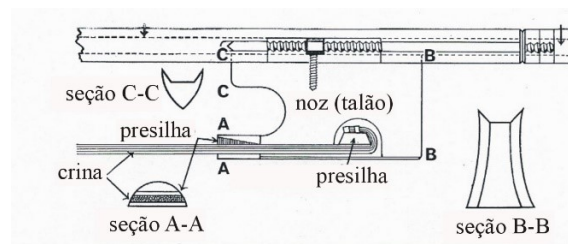
35 cm, com dois recortes (enfranques) ao meio, conhecidos como *Cs* (responsáveis por permitir que o arco alcance as cordas sem esbarrar na caixa de ressonância). A porção menor, dos *Cs* à base do braço, tem em média 16 cm de largura máxima e a maior, dos *Cs* ao botão, cerca de 20 cm. A espessura do tampo superior varia de 2,0 a 3,5 mm, e do fundo de 2,0 a 6,0 mm. As ilhargas têm por volta de 30 a 32 mm de altura (medida importante por influenciar diretamente a quantidade de ar encerrada dentro da caixa de ressonância). A altura máxima do abaulamento em ambas as placas (tampo e fundo) é, geralmente, de cerca de 15 mm (FLETCHER; ROSSING, 2012). Em determinados pontos do interior das ilhargas, reforçando-as, principalmente onde se fixa o braço, existem seis peças de madeira, denominadas blocos. Há, ainda, duas peças que desempenham funções acústicas específicas, que serão descritas na subseção a respeito da caixa de ressonância: a barra harmônica (espécie de ripa de madeira posicionada na superfície interna do tampo) e a alma (pequeno cilindro de abeto posicionado entre o tampo e o fundo). O braço é ligado à caixa de ressonância, sendo feito de uma só peça. Em sua parte final, onde se fixam as cordas, está o cravelhame (estrutura na qual se encaixam as cravelhas), que termina com uma forma em espiral, a voluta, peça decorativa, cujos detalhes variam de acordo com o *luthier*. Cobrindo o braço existe uma peça que se projeta além deste, sobre a caixa de ressonância, chamada espelho. As cordas são presas a uma peça aproximadamente triangular, denominada estandarte, fixa ao tampo por meio do rabicho ligado a ela, que se prende ao botão, e são sustentadas pelo cavalete, estendendo-se ao longo do braço até o seu extremo, onde tocam uma peça designada pestana (pequena barra colocada transversalmente na extremidade do espelho, levemente elevada em relação ao plano deste, com pequenos sulcos onde as mesmas se encaixam). É comum ser instalado um dispositivo móvel (pequena alavanca regulada por um parafuso) para auxiliar na afinação das cordas, chamado micro afinador, acoplado aos orifícios do estandarte, nas cordas Lá e Mi (às vezes apenas na Mi, pois o seu uso altera ligeiramente a sonoridade do instrumento, motivo pelo qual somente iniciantes utilizam micro afinadores nas quatro cordas). Para se estabelecer a afinação, as cordas são tensionadas pelas cravelhas, que são apenas encaixadas nos orifícios abertos lateralmente no cravelhame (podem ser retiradas quando sem as cordas). As cravelhas possuem as hastes ligeiramente cônicas, permitindo o aperto nos respectivos orifícios do cravelhame. Todas essas peças e partes estão discriminadas na Fig. 1.3. O botão, o estandarte com o rabicho, o cavalete e as cravelhas não são fixos ao restante do corpo do instrumento, sendo mantidos em suas respectivas posições pela ação da tensão

das cordas, ao se montar o instrumento. Há, ainda, uma peça de função ergonômica denominada queixeira, que é fixada no tampo na região em que o instrumentista encosta o queixo, para apoiar o instrumento entre este e o ombro, de maneira mais confortável. Tradicionalmente, é utilizado na fabricação da queixeira, do estandarte, do botão, do espelho e das cravelhas, peças que requerem maior densidade e dureza, o ébano (*Diospyros ebenun*), madeira negra, conhecida por sua grande densidade e extrema dureza (BRITO; BRITO, 2009; WOODHOUSE, 2014).

1.4 O arco do violino

O arco dos instrumentos de cordas é formado por uma vareta de madeira¹¹ trabalhada de maneira a manter uma curvatura convexa e permitir que seja tensionada por um feixe de cerca de 150 cerdas de cauda de cavalo¹², que é comumente chamado, pelos instrumentistas, de crina. Na sua parte inferior (denominada talão) é instalado um mecanismo móvel (por meio de um parafuso) que permite o ajuste da tensão do feixe de cerdas (Fig. 1.4). A grossura, o peso e o comprimento da vareta variam de acordo com o instrumento ao qual se destina, sendo mais curtos e grossos os arcos destinados aos instrumentos mais graves, que possuem maior porte e cordas consideravelmente mais grossas, como o violoncelo e o contrabaixo (cujo arco é o mais curto e pesado dentre todos). Entre os de violino e os de viola a diferença é menor, mas ainda presente.

Figura 1.4 – Mecanismo móvel do talão do arco.



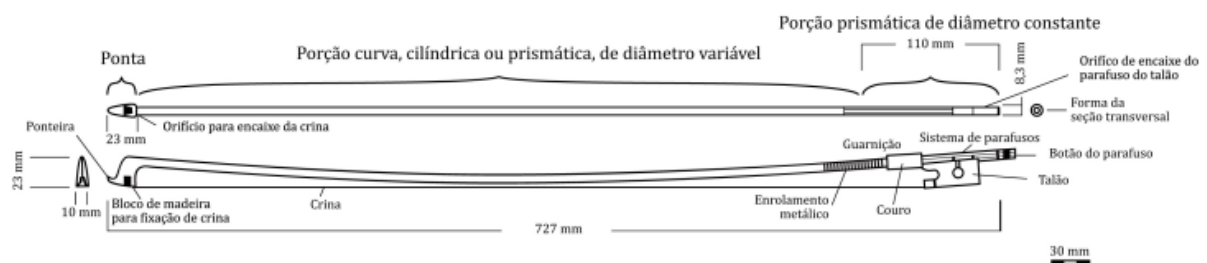
(fonte: adaptado de BOYDEN, 1990, lâmina 29)

¹¹ Atualmente existem arcos feitos com materiais alternativos, principalmente, fibra de carbono, mas, os produtos artesanais tradicionais, feitos com pau-brasil, continuam tendo a preferência da imensa maioria dos instrumentistas.

¹² Da mesma maneira, existem materiais sintéticos que são empregados para substituir a crina natural, tipicamente utilizados em arcos produzidos industrialmente, sobretudo na China. Entretanto, tais materiais sintéticos não são considerados substitutos equivalentes à crina natural por instrumentistas profissionais e seu uso é praticamente restrito a iniciantes.

Atualmente, o comprimento total do arco de violino (Fig. 1.5), incluindo o botão do parafuso, é de 74 a 75 cm, aproximadamente, com o ponto de equilíbrio do mesmo a cerca de 19cm do talão, sendo a extensão útil da crina de 65 cm, com a largura da faixa da mesma fixada em cerca de 1,1 cm. A orientação das escamas naturais dos fios (ou cerdas) da cauda de cavalo determina a fricção da crina com as cordas, por isso, metade do feixe é orientado em um sentido e a outra metade no sentido contrário, de maneira a se obter a mesma fricção independentemente da direção do movimento do arco. Como as escamas desgastam-se, naturalmente, com o uso, a crina deve ser substituída regularmente para que se mantenha a qualidade do arco. Usa-se passar na crina, ao tocar, uma resina obtida de pinheiros e outras plantas coníferas, formalmente denominada colofone¹³, que possui o aspecto de um sólido quebradiço, de um amarelo escuro semitransparente, cuja função é aumentar a fricção entre as cerdas da crina e as cordas dos instrumentos (DONOSO et al., 2008). Essa resina possui uma propriedade incomum de aderir bem quando se prende à corda, e deslizar com pouco atrito quando não aderida (HELLER, 2013), ajudando a estabelecer o mecanismo de tipo "prende-desliza" (seção 2.5.1) responsável pela oscilação das cordas friccionadas.

Figura 1.5 – O arco moderno e suas partes.



(fonte: ilustração de Rubem Filho, baseada em FOMIN, 2018)

Os arcos, atualmente, são feitos, preferencialmente, com a madeira do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), também denominada madeira Pernambuco, que é tida, em todo o mundo, como o melhor material para a sua confecção, por reunir características ideais de resistência, peso apropriado, densidade e capacidade de manter a extensão da curvatura, além da beleza das peças criadas por bons *archetiers*¹⁴.

¹³ No dicionário Houaiss constam apenas as palavras colofônia/colofônio, que remetem ao verbete breu, que tem como primeira definição; "1. Rubrica: química. Sólido escuro, inflamável, obtido a partir de secreções resinosas de várias plantas, esp. de coníferas (*Pinus palustris* etc.), ou da destilação do alcatrão; breu de colofônia, colofônia, colofônio". (HOUAISS, 2009)

¹⁴ Artesão especializado na confecção de arcos para os instrumentos de cordas.

Ao longo da história dos instrumentos de arco, porém, este teve um longo caminho de evolução (Fig. 1.6), até chegar ao modelo atual:

De acordo com Retford (1964), a manufatura de arcos como arte especializada teve sua origem no século XVIII, na França, na oficina de Tourte “O Velho”. Aparentemente pouco se sabe dos seus predecessores; há poucos registros dos primórdios da história do arco e sua origem precisa é desconhecida; os registros mais antigos vêm da cultura árabe e bizantina e datam do século X. Com relação às madeiras empregadas, Pierce (2002) informa que antes da metade do século XVIII eram usadas várias espécies tropicais, incluindo o pau-brasil. Segundo Richter (1988), o pau-brasil já era conhecido no mercado europeu por volta de 1550, quando os primeiros violinos, com a forma dos utilizados atualmente, foram construídos por G. Bartoletti de Saulo, em Bréscia na Itália. Entretanto, foram os irmãos Tourte, em Paris, que consagraram o pau-brasil como material ideal para a confecção de arcos. (ANGYALOSSY; AMANO; ALVES, 2005, p. 820)

Figura 1.6 – A evolução do arco do violino do séc. XVII ao XVIII. O último é o arco moderno, desenvolvido por Tourte por volta de 1785, também conhecido como arco Viotti.

Display of the successive ameliorations of the bows of the seventeenth and eighteenth centuries.

Nº. 1.—Mersenne, 1620.



Nº. 2.—Kircher, 1640.



Nº. 3.—Castrovillari, 1660.



Nº. 4.—Bassani, 1680.



Nº. 5.—Corelli, 1700.



Nº. 6.—Tartini, 1740.



Nº. 7.—Cramer, 1770.



Nº. 8.—Viotti, 1790.



(fonte: FETIS; STRADIVARI, 1864, p.112)

O arco moderno (Fig. 1.5, é o número 8 da Fig. 1.6), utilizado hoje, foi desenvolvido primeiramente por François Xavier Tourte (1747-1835), por volta de 1785. Junto ao violinista italiano Giovanni Battista Viotti (1755-1824), os dois são considerados os grandes responsáveis pela consolidação do modelo, que se tornou referência para as futuras gerações de *archetiers*. Devido à atuação de Viotti, um dos primeiros a adotarem o modelo, alguns estudiosos chamam o arco criado por Tourte de arco Viotti. A sua principal diferença é a curva inversa em relação aos modelos antigos. Ao alterar a curvatura da madeira, tornando-a convexa, com a barriga da curva em direção à crina, a vareta tornou-se dotada de maior tensão e flexibilidade (DOURADO, 2008). Devido às suas características de resistência, leveza e elasticidade, tornou-se o modelo ideal para a execução da grande variedade de golpes de arco exigidos pela técnica dos instrumentos de cordas friccionadas a partir de fins do séc. XVIII (FOMIN, 2018). O *luthier* francês Jean-Baptiste Vuillaume (1798- 1875), também *archetier*, é citado como tendo contribuído com o desenvolvimento do arco ao estabelecer a espessura, o peso e a curvatura ideais da vareta do arco (BRITO; BRITO, 2009).

Além da qualidade do arco estar diretamente relacionada à tocabilidade (facilidade e eficiência para a execução técnica de um instrumento), as características físicas do mesmo (como natureza da madeira, largura do feixe de crina, qualidade e tempo de uso da crina, curvatura e tensão ajustada à mesma, além do emprego da resina) influenciam diretamente nas características acústicas do som obtido (ASKENFELT, 1995; CAUSSÉ et al., 2001; FLETCHER; ROSSING, 2012; GOUGH, 2011; SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT, 2003), motivo pelo qual os instrumentistas de cordas dão grande importância à escolha de um bom arco. Da mesma forma, pesquisas científicas devem considerá-lo como um fator de relevância no som obtido ao se tocar um instrumento de cordas friccionadas.

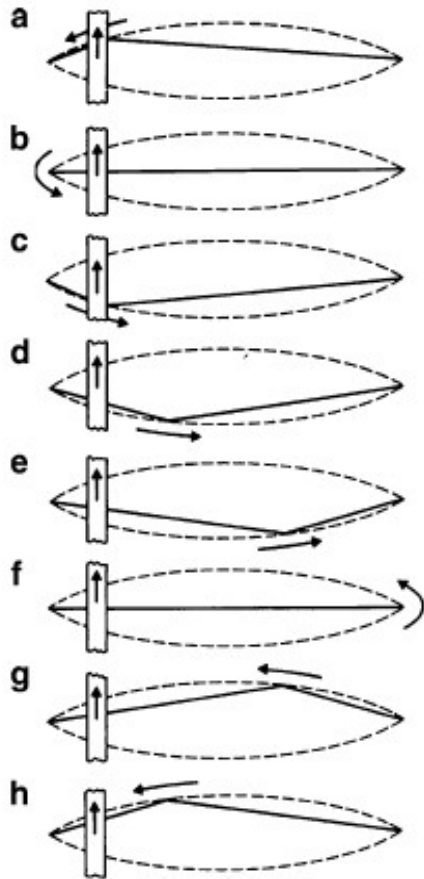
1.5 Elementos da acústica do violino

1.5.1 *Natureza do movimento ondulatório da corda friccionada por arco: Movimento de Helmholtz*

O primeiro a estudar a vibração produzida numa corda friccionada por um arco foi Hermann von Helmholtz (1821-1894) que, utilizando um aparato experimental por ele nomeado “*vibration microscope*” (uma objetiva de microscópio acoplada a um diapasão de garfo), observou o movimento de uma partícula colada na corda de um violino e concluiu que

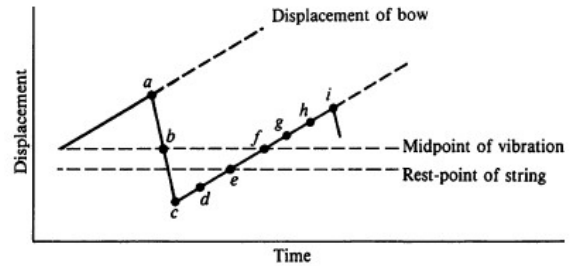
o mesmo é muito diferente da vibração observada nas cordas tangidas (HELMHOLTZ, 1883-1954).

Figura 1.7 – Corda friccionada: movimento de Helmholtz.



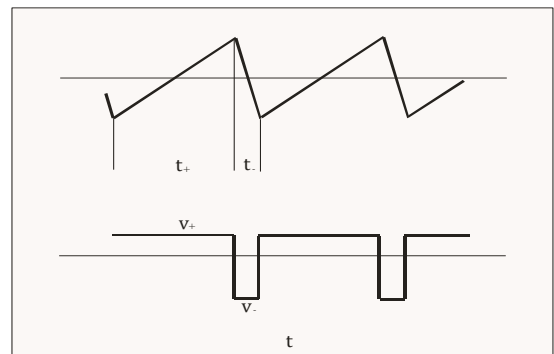
(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 199)

Figura 1.8 – Direção do deslocamento da corda ao longo do tempo.



(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 198)

Figura 1.9 – Funções de deslocamento e velocidade em uma dada posição ao longo da corda, de acordo com as observações de Helmholtz.



(fonte: CREMER, 1984, p. 37)

O movimento transversal de uma corda excitada por um arco (friccionada) apresenta-se formado por dois segmentos retos unidos em um ponto de dobra (Fig. 1.7), o qual percorre toda a corda e é refletido em suas extremidades. A velocidade em que isso ocorre não permite que se veja esse movimento da corda. Assim, percebe-se apenas dois arcos parabólicos (linhas pontilhadas na Fig. 1.7) resultantes do movimento completo. O ponto de dobra desloca-se em sentido anti-horário quando a direção da arcada é para cima e em sentido horário quando a direção da arcada é para baixo (ROSSING; MORRISON, 2010, p. 288).

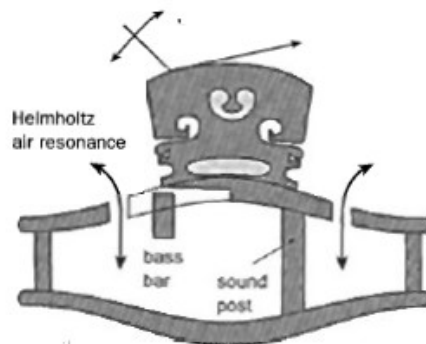
Para se estabelecer o movimento de Helmholtz (Figs. 1.7 e 1.8) é necessário um mecanismo do tipo "prende-desliza" (*stick-slip*): inicialmente, o arco "captura" a corda e a leva consigo, ou seja, o ponto de contato entre o arco e a corda se movimenta na mesma direção que

este, com a mesma velocidade com a qual o instrumentista o conduz (quadros “c” ao “i” da Fig. 1.7, cujo deslocamento da corda correspondente é indicado com as mesmas letras na Fig. 1.8); em seguida, a força restauradora aplicada na corda torna-se muito grande e, conseqüentemente, ela se desprende da crina, deixa de estar aderida ao arco, e desliza rapidamente na direção contrária ao deslocamento do mesmo (quadros “a” ao “c” da Fig. 1.7, com o correspondente deslocamento da corda indicado com as mesmas letras na Fig. 1.8) (DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010). Na seqüência, a corda é "capturada" de novo pelo arco e recomeça todo o ciclo. Pode-se observar, na Fig. 1.9, que a fase de aderência da corda ao arco (t_+) é muito maior do que a fase de deslizamento (t_-); conseqüentemente, a velocidade de deslocamento negativa (v_-), quando a corda se movimenta em direção contrária à do arco, é muito maior do que a velocidade de deslocamento positiva (v_+), que ocorre quando o movimento da corda acompanha o sentido daquele do arco. Pode-se dizer que esse mecanismo de “prende-desliza” é de natureza intrinsecamente não linear, ou seja: a resposta não é proporcional à força (HELLER, 2013).

1.5.2 Ressonância de Helmholtz

Os dois orifícios em forma de “f” permitem considerar que a caixa de ressonância do violino se comporta, numa primeira aproximação, como um ressoador de Helmholtz (Fig. 1.10). A frequência da ressonância dessa cavidade depende, entre outros fatores, do volume de ar encerrado na mesma, no caso do violino, aproximadamente 2.400 cm^3 . Essa Ressonância de Helmholtz é nomeada, também, como *f-hole resonance*, *cavity resonance*, *breathing mode* ou *main air resonance*. Na nomenclatura acústica é designada como A_0 , (*first air mode*) situada entre 270 e 280 Hz. Seu efeito mais importante é reforçar significativamente a sonoridade da nota da terceira corda do violino, Ré₃ (293,66 Hz). (DONOSO et Al.,2008)

Figura 1.10 – Corte esquemático do violino representando a Ressonância de Helmholtz.



(fonte: adaptado de GOUGH, 2000, p. 57)

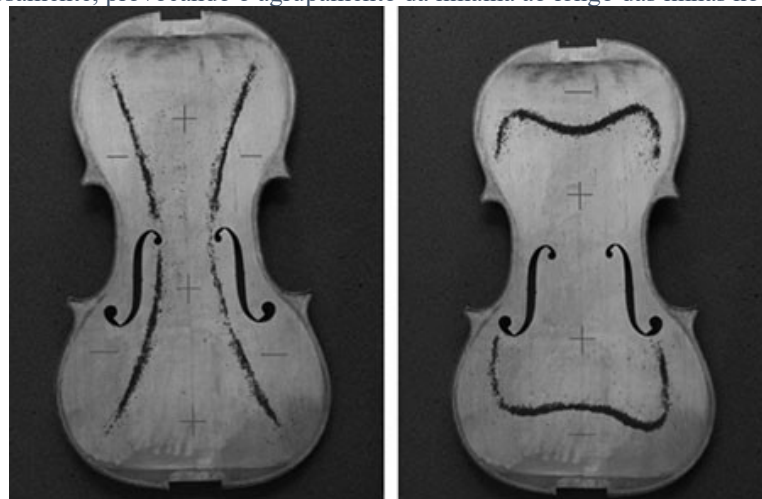
1.5.3 Modos de vibração do corpo

Modos normais de vibração são as diferentes maneiras pelas quais uma estrutura vibra, gerando, conseqüentemente, diferentes frequências de vibração. Os modos normais de vibração de um violino são determinados, principalmente, pelos movimentos acoplados do tampo, do fundo e do ar contido na caixa de ressonância. Participam também, de maneira menos significativa, as ilhargas, o braço e o espelho, além de outras partes, num sistema de acoplamento complexo.

O tampo e o fundo dos violinos são cuidadosamente trabalhados pelos *luthiers* para que se comportem como autênticas tábuas harmônicas, com modos normais de vibração cujas frequências formem uma sequência harmônica (ou seja, que as frequências das parciais superiores sejam, aproximadamente, múltiplos inteiros de uma frequência fundamental).

Esses modos normais de vibração do tampo e do fundo podem ser visualizados pelo método de Chladni (Fig. 1.11). Foi o método utilizado por Savart em 1830, por exemplo, para determinar a diferença tonal na frequência fundamental de afinação das placas superior e inferior dos violinos analisados por ele. Os modos normais de vibração envolvem movimentos acoplados dos tampos superior e inferior, denominados modos do corpo (C_n): no modo mais baixo (C_1) o violino vibra num modo semelhante ao de uma barra livre. Nos próximos três modos, em 405, 530 e 690 Hz, C_2 , C_3 e C_4 , o tampo e o fundo se movem em fase. Nos violinos considerados de melhor qualidade o modo C_3 é o principal parâmetro da resposta de baixas frequências do instrumento (DONOSO et al., 2008; FLETCHER; ROSSING, 2012).

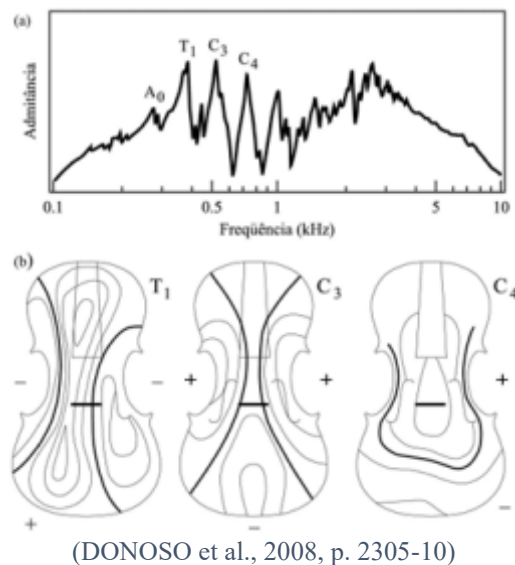
Figura 1.11 – Visualização dos modos 2 (esquerda) e 5 (direita) de um típico tampo de violino. O mesmo é polvilhado com limalha e suspenso sobre um alto-falante ligado a um gerador de ondas senoidais. Quando a frequência atinge a mesma de um dos modos do tampo, este vibra vigorosamente, provocando o agrupamento da limalha ao longo das linhas nodais.



(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 228)

Nos bons instrumentos existem duas ressonâncias cujas frequências correspondem às notas com as quais as duas cordas centrais do violino são afinadas. A primeira delas corresponde a um modo de vibração do tampo superior (modo T_1 , também nomeado C_2 , por volta da dos 400 Hz), próximo à frequência da nota Lá (440 Hz), afinação da segunda corda, e a outra ressonância, correspondente à frequência natural de vibração do ar encerrado na caixa acústica (chamado modo A_0), que coincide com a da nota Ré (294 Hz), terceira corda (Fig. 1.12), como já observado na seção anterior. Pode-se afirmar que nos bons instrumentos essas duas frequências devem estar separadas pela distância de uma quinta. (DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010)

Figura 1.12 – Resposta acústica de um Guarneri del Gesù: ressonâncias do ar (A_0), do tampo superior (T_1/C_2) e do corpo (C_3 e C_4), além das ressonâncias em torno de 2.5 KHz do cavalete (*bridge hill*).



1.5.4 A caixa de ressonância e seus componentes internos

Com uma aparência externa simétrica, o violino tem suas propriedades acústicas fortemente influenciadas por dois elementos ocultos no interior da caixa de ressonância (Figs. 1.10, 1.13 e 1.14), que criam uma forte assimetria acústica, a alma e a barra harmônica (FLETCHER; ROSSING, 2012):

- Barra Harmônica (*Bass Bar*): pequena ripa de madeira posicionada na superfície interna do tampo, logo abaixo de um dos pés do cavalete, no lado das cordas graves. Feita de abeto e localizada longitudinalmente, no mesmo sentido das cordas, essa peça tem a função acústica de maximizar a área do tampo que oscila em fase (que se move ao mesmo tempo), o que é

particularmente interessante para os sons graves. Possui, ainda, uma função estrutural: suporte mecânico ao corpo do instrumento, ajudando o tampo a suportar parte da força exercida pelas cordas tensionadas (Figs. 1.13 e 1.14).

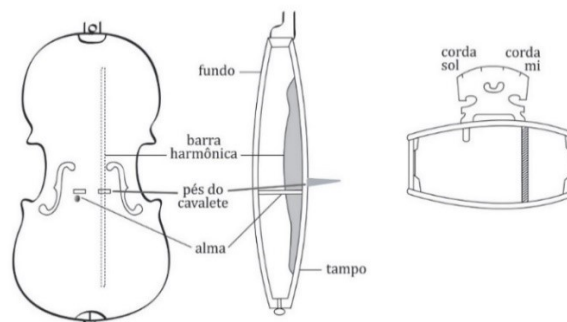
Figura 1.13 – Imagem de um tampo de violino expondo a barra harmônica.



(fonte: internet, sem autoria)

- Alma (*Sound Post*): é um cilindro de madeira de abeto posicionado (não pode ser colado, ficando encaixado por pressão) entre o tampo e o fundo, logo abaixo do pé do cavalete, no lado das cordas agudas (Fig. 1.14). A alma modifica os modos de vibração de ambos os tampos, sendo sua principal função, de fato, introduzir assimetria no comportamento vibracional da caixa de ressonância do instrumento. Considerando que o cavalete oscila sob forças iguais e opostas nos dois pés, ele excita modos, também, bilateralmente simétricos no tampo do instrumento, o que é pouco eficiente para irradiar energia sonora, sobretudo em baixas frequências, onde o comprimento de onda do som é grande, se comparado ao tamanho do corpo do violino. A adição da alma, colocada descentralizada, permite que a simetria dos modos seja perturbada aumentando a eficiência do sistema (NADARAJAH, 2019). Mesmo pequenas alterações em sua posição ou forma podem alterar significativamente o timbre do instrumento, sendo um recurso dos *luthiers* para o ajuste da sonoridade, influenciando tanto o timbre quanto a intensidade dos instrumentos.

Figura 1.14 – Caixa de ressonância do violino, detalhe para alma e barra harmônica.



(fonte: ilustração de Rubem Filho, acervo pessoal)

1.5.5 O cavalete

Figura 1.15 – Violino montado com cavalete de modelo antigo e cordas de tripa, acervo da Fondazione Museo del Violino Antonio Stradivari, em Cremona.



(fonte: foto de dezembro de 2017 feita pelo Prof. Maurício Freire Garcia, cedida pelo mesmo)

Peça de formato bem característico (Figs. 1.15, 1.16 e 1.17), tem como principal função transformar o movimento de vibração das cordas – dispostas paralelas ao tampo superior – em forças a serem transmitidas pelos dois pés, perpendiculares ao tampo superior do instrumento. Trata-se, portanto, de um dispositivo cuja função é "girar" a força transversal das cordas em vibração, transformando-a em forças normais aplicadas ao tampo do instrumento. Sua porção superior é curva, ligeiramente mais alta do lado das cordas graves, com quatro entalhes para as cordas, permitindo que estas sejam tangidas pelo arco separadamente ou de duas em duas ao mesmo tempo. Os *luthiers* sabem, há séculos, que pequenas mudanças no cavalete podem produzir efeitos radicais na sonoridade do instrumento, e são muito cuidadosos em relação aos detalhes de espessura, peso e proporções da peça (CREMER, 1984; DONOSO et al., 2008; ROSSING; MORRISON, 2010; FLETCHER; ROSSING, 2012; HELLER, 2013).

Savart observa:

If we take a piece of wood cut like a bridge and glue it on to a violin, the instrument will have almost no sound; it begins to improve if feet are formed on the bridge; if we

make two lateral slots, the quality of sound takes on increasing value as we cut the bridge completely to the usual form. It is astonishing that by feeling our way we have arrived at the shape currently used, which seems to be the best of all that could be adopted.¹⁵ (SAVART, 1840 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 297)

Figura 1.16 – Cavalete de violino atual visto de frente. O orifício central é conhecido como coração e os laterais como ouvidos, embaixo, os pés.



(fonte: internet, sem autoria)

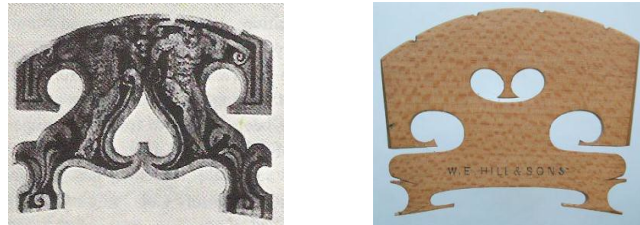
Ao longo da história o cavalete teve seu desenho definido pela funcionalidade de suas características acústicas e também por fatores estéticos, tendo alterado bastante seu aspecto ao longo do tempo (Figs. 1.15 a 1.17). Tais mudanças foram, em grande parte, devidas às alterações sofridas pelo instrumento à medida que o desenvolvimento musical ocidental apresentava novas situações de uso, sobretudo, a busca por uma maior intensidade sonora, que levou ao aumento da tensão das cordas e conseqüentemente necessidade de reforço de vários componentes da estrutura do instrumento, principalmente, com o advento das cordas de metal, como descrito por Damas:

Durante o período compreendido entre os séculos XVI e XIX, ao nível da forma, o cavalete sofreu uma alteração, que se revelou simultaneamente estética, fisionômica e funcional. A forma barroca do cavalete tinha orifícios bastante grandes, o que resultava numa estrutura bastante frágil quando sujeita a grandes pressões. Com o aparecimento das cordas metálicas, o cavalete passou a ser sujeito a uma pressão ainda superior, e foi por isso necessário redesenhar um cavalete mais sólido, com orifícios mais pequenos que tornavam o cavalete mais capaz de resistir à forte tensão das novas cordas. Este novo modelo foi adoptado pelos Luthiers da segunda metade do século XVIII. Estas alterações, tal como as alterações realizadas no braço do violino [...] foram consequência dos requisitos dos novos repertórios. Outra alteração na evolução do violino foi a localização do cavalete no tampo superior, o cavalete era colocado mais perto do estandarte, ou mais perto do ponto, a determinação da sua localização dependia de onde era conseguido o melhor resultado sonoro. A posição do cavalete nos primeiros violinos não era *standard*, no entanto, com a evolução dos estudos científicos e com o início da utilização do novo modelo de cavalete implementado por

¹⁵ “Se pegarmos um pedaço de madeira cortado como um cavalete e o colarmos em um violino, o instrumento quase não terá som; começa a melhorar se os pés são feitos no cavalete; se fizermos os dois ouvidos laterais, a qualidade do som aumenta de qualidade conforme nós cortamos o cavalete completando o seu formato usual. É surpreendente que por meio de nossas sensações, nós tenhamos chegado à forma usada atualmente, que parece ser a melhor dentre todas as que poderiam ser adotadas.” (tradução nossa)

Gesù, determinou-se que a sua posição deveria ser entre os efes (aproximadamente a meio). Esta localização permanece. (DAMAS, 2012, p. 28)

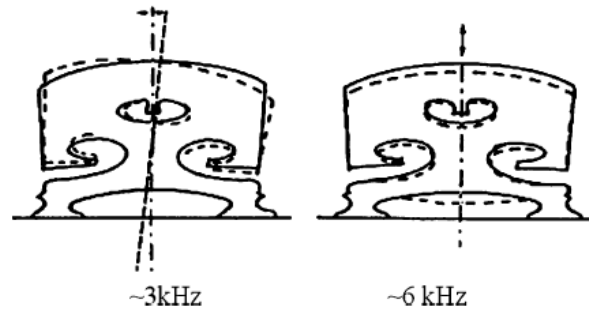
Figura 1.17 – Na imagem do lado esquerdo, cavalete de Antonio Stradivari; do lado direito cavalete moderno. Estes foram os principais modelos de cavaletes usados ao longo da história do violino.



(fonte: DAMAS, 2012, p. 29)

Assim como a alma, o cavalete não é fixado à estrutura do violino, sendo mantido na posição definida sobre o tampo apenas pela tensão das cordas, para que o seu comportamento vibracional não seja prejudicado. Possui modos de vibração próprios, que não se limitam a seu plano, mas, incluem vibrações longitudinais e de torção. A porção superior da peça é separada da inferior por uma estrutura delgada, formada pelos ouvidos (os dois orifícios laterais da peça), que cria as condições para uma ressonância específica, ao atuar como uma mola, permitindo à porção superior oscilar lateralmente (Fig. 1.18). Essa ressonância, conhecida por *bridge hill*, é observada em torno de 3.000 Hz (frequência esta que coincide com o pico de uma das regiões de maior sensibilidade do ouvido humano), refletindo na resposta acústica do instrumento, que apresenta um pico característico nessa faixa de frequências. Acredita-se que o *bridge hill* envolva movimentos cooperativos entre o tampo superior do violino e o cavalete. Dentre vários outros modos de vibração, destaca-se, notadamente, um segundo modo, observado em cerca de 6.000 Hz (CREMER, 1984; ROSSING; MORRISON, 2010; WOODHOUSE, 2014), relacionado ao movimento vertical representado na Fig. 1.18 (Donoso cita a faixa dos 4.510 Hz para essa segunda ressonância (DONOSO et al., 2008)).

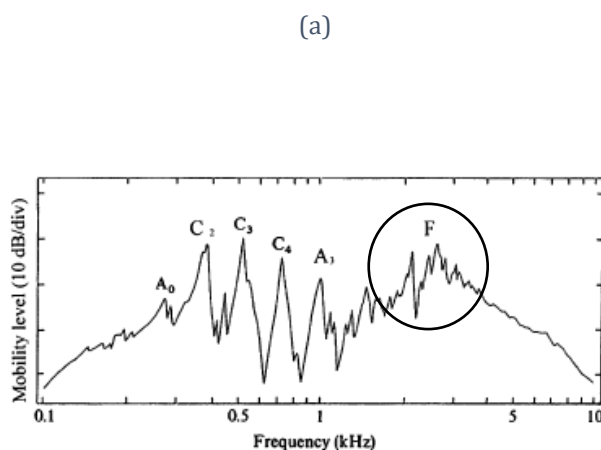
Figura 1.18 – Representação dos dois principais modos de vibração do cavalete; à esquerda a oscilação lateral da porção superior da peça, na faixa dos 3.000 Hz, conhecida como *bridge hill*. À direita, a ressonância característica da oscilação vertical, por volta de 6.000 Hz.



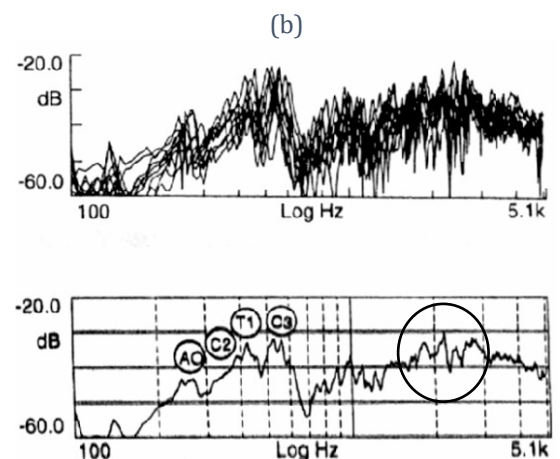
(fonte: ROSSING; MORRISON, 2010, p. 231)

A importância do *bridge hill* é observada em estudo feito por Jansson, quem primeiro nomeou esse pico de resposta acústica do violino, relacionando-o diretamente ao primeiro modo de vibração observado em um típico cavalete de violino moderno (WOODHOUSE, 2014), em 1982, que, junto a Moral, analisou a resposta acústica de um violino Guarneri, como pode ser observado na Fig. 1.19a Jansson também comparou, em outro artigo, a resposta acústica de 25 violinos de alta qualidade (feitos entre 1730 e 1894) criados por *luthiers* de diferentes países: Itália, França, Holanda e Alemanha (Fig. 1.19b), identificando na quase totalidade dos instrumentos, as ressonâncias dos modos A_0 ,

Figura 1.19 – (a) Mobilidade do cavalete de um violino Guarneri identificando os principais modos de vibração, observados por Jansson e Moral em pesquisa de 1982. A letra F indica o *bridge hill* (destaque nosso). (b) Análise, também de Jansson, de 25 violinos de alta qualidade. Na figura inferior o círculo (destaque nosso) delimita a região do *bridge hill*, podendo-se observar grande correspondência entre os modos de vibração dos dois trabalhos.



(fonte: MORAL; JANSSON, 1982 apud ROSSING; MORRISON, 2010, p. 223)



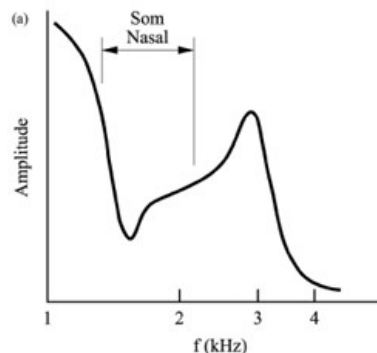
(fonte: JANSSON, 1997 apud DONOSO et al.,2008)

T_1/C_2 e C_3 , além de um *bridge hill* pronunciado, resultados compatíveis com os da pesquisa anterior, tendo o pesquisador concluído, então, que a presença de tal ressonância, junto à do modo C_3 , seriam as características mais significativas da resposta acústica de um violino de qualidade superior.

Outro aspecto muito importante do funcionamento do cavalete é a sua capacidade de atuar como um filtro acústico (BISSINGER, 2006; DONOSO et al., 2008). A peça pode suprimir determinadas frequências consideradas indesejáveis. As ressonâncias até 1.200 Hz e a partir de 2.000 Hz, atingindo o pico do *bridge hill* por volta dos 3.000 Hz, reforçam a sonoridade do instrumento nessas frequências, ao passo que a depressão entre as duas zonas de ressonâncias reduz o tom nasal indesejável na região entre elas. A peça comporta-se de tal forma que permite caracterizá-la como um filtro:

Uma outra manifestação da função de filtro acústico do cavalete ocorre na região entre 1300 e 1800 Hz. Em 1978, Hacklinger observou que até os 1200 Hz, o som do violino é cheio e muito valorizado; acima dos 2000 Hz o som é claro e brilhante, mais entre 1300 e 1800 Hz aparecem sons nasais, indesejáveis, que precisam ser suprimidos. [...]efetivamente a amplitude do som tem uma redução na região de 1300 a 1800 Hz num violino. Modificando o cavalete, o autor verificou que esta peça atua como um verdadeiro filtro acústico passa baixas nessa região, bloqueando as altas frequências. (DONOSO et al., 2008, p. 2305-11)

Figura 1.20 – O cavalete como filtro "passa-baixas".



(fonte: DONOSO et al.,2008, p. 2305-11)

Pode-se, portanto, localizar a principal atuação do cavalete como filtro acústico (Fig. 1.20) dentro dos seguintes parâmetros:

- destaca frequências ≤ 1.300 Hz: som cheio, sonoridade nobre do instrumento;
- atenua entre 1.300 a 1.800 Hz: som nasal, de características indesejáveis;
- destaca frequências entre 1.800 Hz a 4.000 Hz: som brilhante, claro, de grande projeção;

O funcionamento acústico do cavalete é particularmente relevante na presente pesquisa, por ser a peça a sofrer a ação direta do uso de surdinas, cujo princípio de funcionamento básico é, justamente, modificar o comportamento vibracional original da peça, gerando uma série de alterações na sonoridade dos instrumentos em que são usadas.

1.6 A arcada: uma equação de três variáveis

Devem ser considerados três parâmetros básicos na utilização do arco na execução dos instrumentos de cordas friccionadas¹⁶: velocidade de deslocamento do arco, pressão do arco contra a corda e ponto de contato do arco com a corda (geralmente relacionado, pelos músicos, à distância ao cavalete ou ao fim do espelho). A alteração de uma ou mais dessas variáveis implica diretamente na forma de onda gerada pela fricção da corda e, conseqüentemente, nas características do som gerado pelo instrumento, tanto em relação à intensidade obtida, quanto em relação ao timbre (SAUNDERS, 1937; DONOSO et al., 2008; GUETTLER, 2010; ROSSING; MORRISON, 2010). Donoso, em artigo de 2008, sintetiza a problemática envolvida na questão:

O som gerado ao passar um arco pelas cordas depende essencialmente de três variáveis: a velocidade do arco, a posição do arco (distância ao cavalete) e a força com que se pressiona o arco contra as cordas. A situação não é tão simples quanto parece porque existe uma correlação entre estas grandezas. Se desejamos, por exemplo, passar o arco lentamente (como ocorre no caso de notas longas e ligadas), a força perpendicular com que o músico pressiona as cordas deverá ter um valor mínimo, para que resulte um som firme de boa qualidade. Uma pressão muito leve provoca instabilidade no deslocamento e na velocidade da arcada (o arco não consegue "capturar" a corda) e o resultado será um som inseguro. Pelo contrário, se a força for muito grande, a corda seguirá presa ao arco, destruindo o movimento periódico da corda, resultando um som arranhado. (DONOSO, 2008, p. 2305-13)

Saunders relata, também, suas observações a respeito da questão, relacionando a alteração das três variáveis com os efeitos provocados no espectro harmônico do som do

¹⁶ Embora na técnica instrumental a região do arco utilizada para tocar (a porção de crina que entra em contato com a corda) seja de grande relevância para a caracterização dos diferentes golpes de arco, esse fator não é considerado uma quarta variável física de definição da onda sonora gerada pela fricção da corda, porque, na verdade, as diferentes regiões do arco definem, apenas, características específicas da crina das mesmas e sua resposta à ação do instrumentista: a diferença no espalhamento das cerdas, o maior ou menor desgaste das escamas das mesmas, o maior ou menor tensionamento do feixe e conseqüente resposta de transmissão de energia para a corda etc. Ou seja, apesar de tocar próximo ao talão ou próximo à ponta, por exemplo, gerar respostas sonoras específicas, do ponto de vista físico, essas respostas continuam determinadas pela velocidade de deslocamento do arco, pela pressão exercida sobre as cordas e pelo ponto de contato com as cordas, condicionadas, porém, pelas características específicas da crina, e do arco como um todo, em cada região do mesmo.

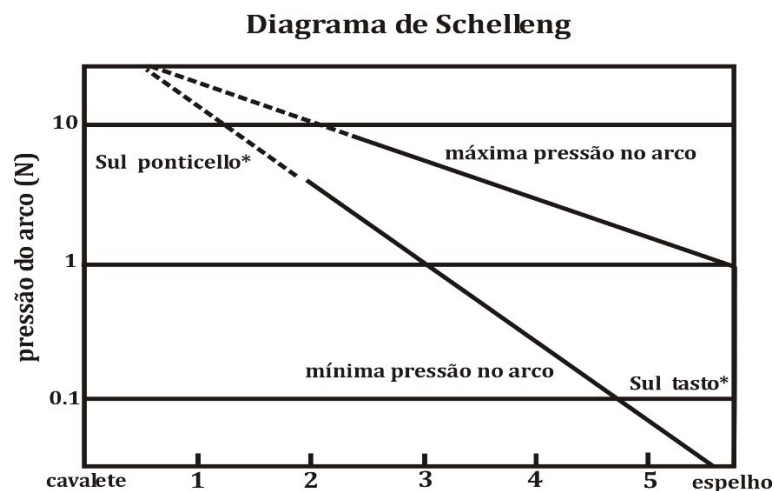
violino, embora não observe, no trecho abaixo, a inevitável interação entre os três fatores, quando considerada a prática real do instrumento:

The variations in the quality of a tone (i.e., in the relative strengths of its partial tones) produced by hand bowing have been traced to variations in bow pressure, bow speed, and the distance of the bow from the bridge (here called bow distance). Of these, changes in bow pressure alter the tone quality very little, changes in speed (alone) somewhat more, and changes in bow distance probably most of all.¹⁷ (SAUNDERS, 1937, p. 83)

Em estudo de 1973, Schelleng estabeleceu que, para uma dada velocidade de arco, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato para que a corda entre em vibração de acordo com o movimento oscilatório de Helmholtz (Fig. 1.21) (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012).

Figura 1.21 – Relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda, para uma velocidade constante de deslocamento do arco. Como se pode observar, tocando-se mais próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtêm um som mais brilhante.

*Sul ponticello/Sul tasto: expressões italianas utilizadas nas partituras dos instrumentos de arco que indicam, respectivamente, tocar próximo ao cavalete e próximo ao espelho.



(fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

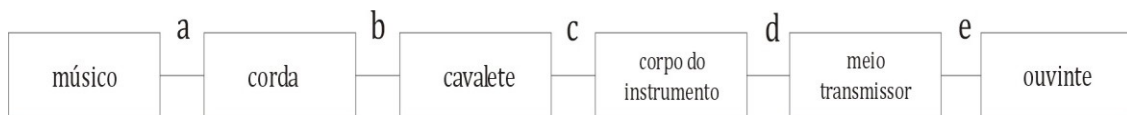
A técnica de arco vale-se de alguns princípios que, relacionando os três parâmetros, estabelecem as bases práticas para o uso do arco: pressão e velocidade estão em relação inversa,

¹⁷ “As variações na qualidade do som (i.e., na intensidade relativa de suas parciais harmônicas) produzidas pela arcada humana são definidas pelas variações na pressão aplicada ao arco, na velocidade do arco, e na distância do arco em relação ao cavalete (aqui denominado ponto de contato). Destas, as mudanças na pressão do arco alteram a sonoridade muito pouco, mudanças na velocidade (apenas), algo mais, e mudanças no ponto de contato provavelmente mais do que todas.” (tradução nossa)

quanto maior a velocidade, menor a pressão aplicada e vice-versa; já o ponto de contato depende da pressão, quanto maior for esta, mais próximo será o ponto de contato em relação ao cavalete, quanto menor a pressão, mais afastado será o ponto de contato do cavalete. A relação entre ambos (pressão e ponto de contato) é, geralmente, intermediada pela velocidade de deslocamento do arco. O controle das complexas interações geradas por essas variáveis, portanto, junto aos diferentes tipos de ataque possíveis, define as características da sonoridade da grande variedade de golpes de arco existentes.

1.7 A resultante final: o som do violino

Figura 1.22 – Diagrama funcional do violino: do músico até o ouvinte.



(fonte: adaptado de ELIE; GAUTIER, 2014, p. 1386)

A Fig. 1.22 representa um diagrama funcional do violino, conforme descrito abaixo:

- a) A corda é excitada pelo músico por meio do arco e nesse processo acontecem interações não lineares responsáveis pela criação da onda de Helmholtz¹⁸;
- b) A vibração da corda transfere sua energia para o cavalete;
- c) O cavalete transfere e filtra a vibração para o corpo do instrumento;
- d) A energia é irradiada para o ar, após a vibração sofrer os efeitos dos diferentes modos de ressonância do corpo do instrumento e da ressonância do ar da caixa acústica;
- e) A onda sonora resultante de todo o processo é transmitida pelo ar até o sistema auditivo do ouvinte.

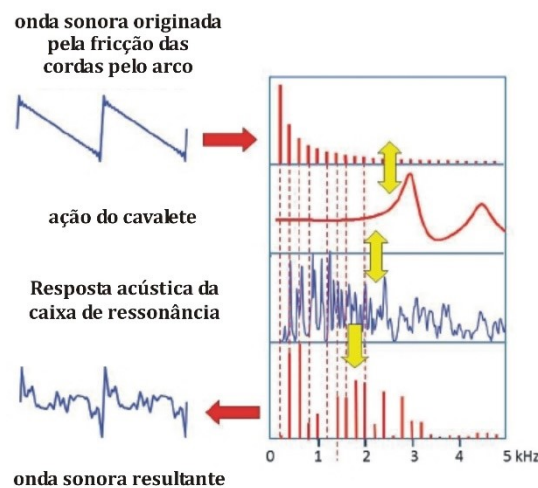
No início do processo deve-se considerar a ação particular do instrumentista, ao gerar a vibração original por meio da ação do arco. O golpe de arco¹⁹ utilizado e a perícia do

¹⁸ De acordo com Heller, “one of the most important nonlinear, cooperative resonances in all of musical sound” (HELLER, 2013, p. 379) – “uma das mais importantes ressonâncias cooperativas não lineares dentre todos os sons musicais”. (tradução nossa)

¹⁹ De acordo com Henrique Autran Dourado, em seu livro *O arco dos instrumentos de cordas: [...] golpe de arco*, refere-se, primordialmente, ao repertório de maneiras diferentes de se articular um única nota ou grupo de notas

instrumentista em executar o mesmo determinam as características iniciais da onda sonora gerada. Nas fases seguintes ‘b’, ‘c’ e ‘d’ (representadas na Fig. 1.23), o instrumento assume o protagonismo no processo. As qualidades acústicas de cada violino, definidas pela qualidade dos materiais empregados em sua construção e pela perícia do fabricante, além de detalhes relativos à montagem do instrumento, como a regulagem da alma, do corte do cavalete ou da qualidade das cordas utilizadas, são responsáveis pela natureza do som irradiado. A última fase ‘e’ pode ser associada às características acústicas do ambiente onde a emissão sonora do instrumento é realizada: o principal mérito das boas salas de concerto é, justamente, facilitar a propagação do som, com o mínimo possível de perda de suas qualidades originais, até os ouvidos da assistência.

Figura 1.23 – Descrição da atuação do corpo do violino e seus diferentes componentes responsáveis pelo espectro final do som do violino.



(fonte: adaptação de GOUGH, 2016, p. 25)

em determinada célula musical por meio de um gesto técnico específico, passível de ser identificado por meio de uma expressão particular. [...]arcada, diz respeito ao conjunto de sinais gráficos, como ligaduras de arco, pontos e sinais de direção elaborados pelo músico que, combinados, representam a maneira com que o arco deve executar determinado trecho musical. Visualmente, deve-se entender arcada como a sequência de sinais indicativos dos movimentos empregados pelo arco para a execução desse trecho.” (DOURADO, 2008, p. 13). Ou seja, ‘golpes de arco’ seriam as diferentes maneiras com as quais um instrumentista pode utilizar o arco para tocar, obtendo efeitos de ataque e articulação das notas bastante variados, enquanto que as representações gráficas das instruções para o uso dos mesmos seriam denominadas ‘arcadas’; observa-se, porém, que é bastante comum as duas expressões serem empregadas como sinônimos pelos instrumentistas. Há ainda uma outra conotação corrente para ‘arcada’: a ação de, simplesmente, tocar com o arco, ou a emissão de som dela resultante, independente do golpe de arco utilizado, sendo, por exemplo, expressões comuns com esse sentido entre os músicos: “nesse trecho, uma arcada para cima e duas para baixo”, “a segunda arcada deve ser mais acentuada” ou, ainda, comum em aulas, “quatro arcadas inteiras para cada nota da escala”. São exemplos de nomes de golpes de arco: *détaché*, *martelé*, *spiccato*, *sautillé*, *jetté* etc. Os nomes dos mesmos são basicamente em francês e italiano.

O som do violino resulta, portanto, da forma de onda gerada pela excitação das cordas pelo arco, filtrada e transmitida por meio do cavalete ao corpo do instrumento e, então, modulada pelas ressonâncias deste (do corpo, tampo e fundo), além da ressonância do ar contido em seu interior (DONOSO et al., 2008). Em seu caminho até os ouvintes, estará, ainda, sujeita às condições acústicas do ambiente no qual se propaga.²⁰

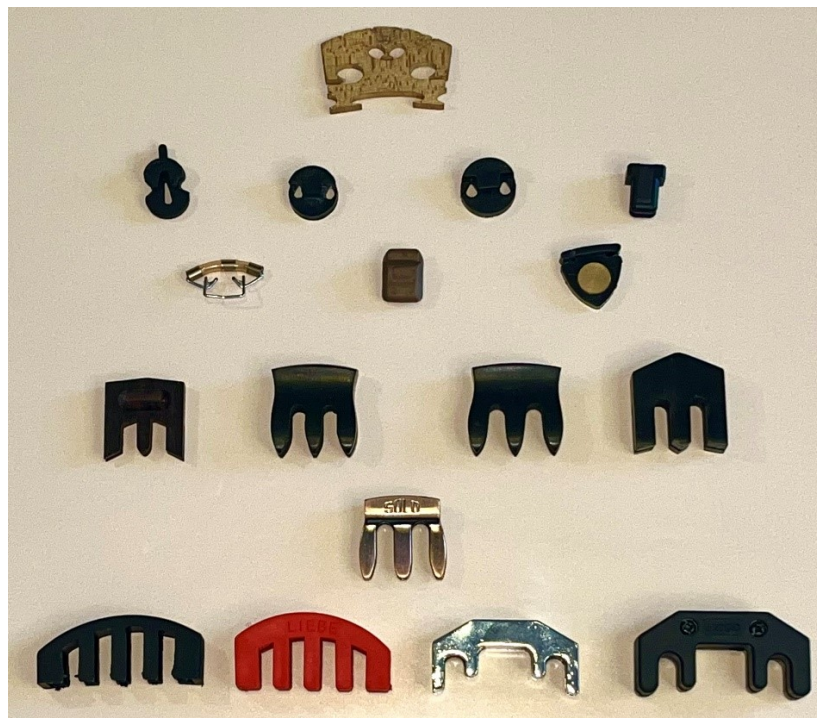
²⁰ É importante notar que não se trata de uma cadeia unidirecional de causas e efeitos, já que os diferentes processos descritos nesse diagrama funcional também atuam em *feedback* entre si.

2 A SURDINA DOS INSTRUMENTOS DE ARCO

2.1 Descrição

As surdinas utilizadas nos instrumentos de arco (Fig. 2.1) são dispositivos de formatos variados, confeccionados em diferentes materiais (madeiras variadas, diversos tipos de metal, borracha, plástico e outros materiais sintéticos e com combinações destes)²¹ acoplados diretamente ao cavalete dos instrumentos ou às cordas (Fig. 2.2), quando então se fixam às mesmas entre o estandarte²² e o cavalete²³, de maneira a entrarem em contato com este último, sendo que alguns tipos permitem a utilização em mais de uma posição. Utilizadas nos outros instrumentos da família do violino (viola e violoncelo) e, com menos frequência no contrabaixo acústico, sofrem adaptações relacionadas ao tamanho e peso para se adequarem aos diferentes instrumentos, mantendo, porém, os mesmos princípios gerais de funcionamento e efeito.

Figura 2.1 – Diversos tipos de surdinas para violino do acervo da pesquisa, ao lado de um cavalete do instrumento para dimensionamento do tamanho dos dispositivos.



(fonte: imagem própria)

²¹ Mais raramente, especialmente em surdinas antigas: marfim, osso e couro (bastante utilizado em dispositivos empregados em performances historicamente informadas), dentre outros.

²² Peça, preferencialmente feita de madeira, de formato aproximadamente triangular, onde são presas as cordas do violino (vide seção 1.3).

²³ Vide seção 1.5.5.

Produzem, basicamente, dois efeitos: alteração da intensidade e do timbre do som emitido pelos instrumentos. Pode-se considerar que, do ponto de vista da performance artística, entende-se atualmente que o motivo de sua utilização seja a alteração do timbre, sendo a variação da intensidade do som dos instrumentos apenas um efeito secundário. Apenas no caso dos dispositivos designados genericamente como “surdivas de estudo” – *Practice Mute*, como são denominadas em inglês (SARCH, 2017) – chamadas, também, de abafadores, em português, o objetivo principal visado é, justamente, a redução da intensidade do som do instrumento de maneira radical, possibilitando a prática do mesmo em ambientes ou circunstâncias onde seja necessário que ele emita o mínimo de som possível.

Figura 2.2 – Surdiva acoplada ao cavalete, à esquerda, e às cordas, à direita.



(fonte: imagem própria)

Como visto no capítulo anterior, o cavalete dos instrumentos de corda friccionada é de fundamental importância na composição do timbre dos mesmos. As surdivas alteram, justamente, o comportamento vibracional original do cavalete, afetando todo o comportamento acústico do instrumento, produzindo, com isso, uma variada gama de efeitos de acordo com suas características físicas (material de que são feitas²⁴, formato, tipo de acoplamento²⁵ com o cavalete e massa acrescentada ao sistema), tanto em relação ao grau de variação provocado na

²⁴ Embora o presente trabalho não desenvolva uma análise acerca das propriedades acústicas dos diferentes materiais que podem ser utilizados na fabricação das surdivas, os efeitos específicos ligados a esse fator foram caracterizados, já que, empiricamente, observou-se, com o emprego dos descritores acústicos aplicados nas análises de áudio, a clara influência dessa propriedade nos efeitos das surdivas, corroborando a percepção de instrumentistas e ouvintes que reconhecem distintamente as diferenças entre os efeitos gerados por dispositivos de aspecto similar, porém, feitos com materiais diferentes. Por esse motivo essa característica é sempre observada na tentativa de diferenciar o papel de cada uma das propriedades físicas das surdivas nos efeitos que produzem, considerando-se que fatores como massa, densidade, rigidez, dentre outros, relacionados diretamente aos diferentes materiais utilizados nos dispositivos (tais como borracha e outros produtos sintéticos, metais e madeiras variados) geram respostas acústicas próprias, ainda que condicionadas, também, pelas demais características físicas das surdivas, ao interagirem com o sistema acústico constituído pelas cordas tensionadas, cavalete e caixa acústica do instrumento.

²⁵ O acoplamento envolve o(s) ponto(s) em que toca o cavalete, a área que entra em contato com o mesmo, e a pressão exercida sobre a peça.

intensidade do som do instrumento, quanto em relação ao timbre do mesmo, podendo realçar ou suprimir diferentes características de sua sonoridade original.

2.1.1 Histórico de utilização das surdinas

Embora fuja aos objetivos do presente trabalho uma investigação histórica a respeito do uso das surdinas, uma contextualização básica mostra-se interessante para o entendimento da prática musical com as mesmas. A única fonte especificamente dedicada a um levantamento histórico amplo do uso do recurso localizada foi o artigo *Muted violins from Lully to Haydn* de Deirdre Loughridge (LOUGHRIDGE, 2016), onde ficam evidentes as dificuldades para esse tipo de pesquisa. O seu trabalho, porém, indica inúmeras fontes e apresenta as principais questões pertinentes ao desenvolvimento histórico das surdinas, servindo de base para essa seção.

2.1.1.1 Primeiros registros

A utilização de algum tipo de dispositivo para reduzir a intensidade do som de um instrumento musical remonta a fins do séc. XVI, quando teria se iniciado a prática da utilização de surdinas em trompetes, ao serem empregados em cerimônias fúnebres, onde a sonoridade típica desses instrumentos, eventualmente demasiado forte e agressiva, não seria conveniente (McGRATTAN, 1995; LOUGHRIDGE, 2016). Já os primeiros registros de utilização de surdina nos instrumentos de arco remontam a fins do séc. XVII. Considerando-se a primeira fonte natural de registro de uso das mesmas as partituras para orquestra ou música de câmara onde haja algum tipo de instrução do compositor solicitando a sua utilização, são citados na literatura a respeito do assunto três compositores que, antes de 1700, teriam demandado em suas partituras a utilização de surdina: Heinrich Schmelzer, com o drama religioso *Le memorie dolorosa*, composto para a capela da corte de Viena em 1678, Jean-Baptiste Lully, com *Le triomphe de l'Amour*, composta em 1681, e Henry Purcell, com *The Fairy Queen*, datada de 1692 (BOYDEN, 1990; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017). Destas, nas de Lully e Purcell, não há dúvidas quanto ao sentido das instruções para o uso de surdina; na de Lully, inclusive, a instrução disposta no alto da página de maneira bem detalhada sugere que a prática talvez não fosse muito comum aos músicos de então (LOUGHRIDGE, 2016), não estando ainda normatizada; o compositor anota: “*Tous les Instruments doivent avoir des sourdines et jouer*

doucement, particulièrement quando les voix chantent, et ne point ôter les sourdines que l'on ne l'ait marqué"²⁶ (Fig. 2.3).

Figura 2.3 – Fac-símile de "Le triomphe de l'amour" de Lully com sua detalhada instrução para a utilização de surdinas.

86

LE TRIOMPHE

PRELUDE POUR LA NUIT.

BASSE CONTINUE.

Tous les Instruments doivent avoir des sourdines & jouer doucement, particulièrement quand les voix chantent, & ne point ôter les sourdines que l'on ne l'ait marqué.

PREMIER DESSUS.

(fonte: Petrucci Music Library - <http://imslp.org/>)

Quanto à obra de Heinrich Schmelzer, *Le memorie dolorosa*, Loughridge argumenta, com evidências sólidas, que as instruções como “*Sordini con la lyre*”, “*Ritornello di Sordini*” e “*Sordini*”, presentes na partitura, não fazem referência ao uso de surdina, mas, sim, à utilização de um “*Sordino*” (Fig. 2.4), espécie de instrumento de arco de uso anterior ao violino e sua família (LOUGHRIDGE, 2016), e que, assim como a família das violas da Gamba, conviveu durante um bom tempo com os novos instrumentos que se afirmavam no cenário musical europeu (HUTCHINS, 1962). Loughridge observa, nesse sentido, que a formalização da linguagem musical foi, sabidamente, um processo lento:

The period from the late 17th to the early 18th century was a time of developing musical vocabulary, as well as of changes in instrument manufacture. In consequence, terms often had multiple meanings, making it difficult at times [...] to determine when a term refers to an instrument, to a manner of playing, or to another aspect of performance. The first known appearance of ‘con sordino’ in a musical score is thus equally doubtful as a reference to the violin mute.²⁷ (LOUGHRIDGE, 2016, p. 428)

²⁶ “Todos os instrumentos devem ter surdinas e tocar suavemente, particularmente quando as vozes cantam, e não tirar as surdinas a não ser quando se assinala.” (tradução nossa)

²⁷ “O período de fins do séc. XVII e começo do XVIII foi uma época de desenvolvimento do vocabulário musical, bem como de transformações na manufatura dos instrumentos. Consequentemente, expressões frequentemente tinham múltiplos significados, tornando difícil, às vezes – como Eleanor Selfridge-Field observou – determinar quando um termo se refere a um instrumento, a uma maneira de tocar, ou a outro aspecto da performance. A primeira aparição do “con sordino” em uma partitura musical é de tal forma duvidosa quanto à referência à surdina de violino.” (tradução nossa)

Pode ser considerada, portanto, a menção mais antiga de instrução para uso de surdinas em uma partitura, aquela presente na peça “*Le triomphe de l’Amour*” (Fig. 2.3), de Lully, de 1681 (LOUGHRIDGE, 2016)²⁸.

Figura 2.4 – *Sordino*, de Filippo Bonanni, *Gabinetto armonico pieno d’instromenti sonori indicati, spiegati, e di nuovo corretti, ed accresciuti* (Rome, 1723), pl. 59, Getty Research Institute.



(LOUGHRIDGE, 2016, p. 429)

Quanto ao termo surdina, associado especificamente ao violino, seu primeiro registro conhecido na literatura é de 1680, no *Dictionnaire françois contenant les mots et les choses* (“Dicionário francês contendo as palavras e as coisas”, tradução nossa) de Pierre Richelet (LOUGHRIDGE, 2016), no qual há duas entradas para *sourdine*, uma delas fazendo menção ao já citado instrumento “*sourdine*” (Fig. 2.4), descrito como instrumento “*qui sert seulement pour jouer du luth ou du violon d’une manière sourde et obscure et que ne soit pas beaucoup entendue*²⁹” (RICHELET, 1680, p. 395), e a outra, associada ao violino, na qual o dispositivo é descrito e o uso da palavra exemplificado com uma frase sugerindo, inclusive, onde poderia ser adquirido, o que é um indicativo das características físicas das surdinas da época:

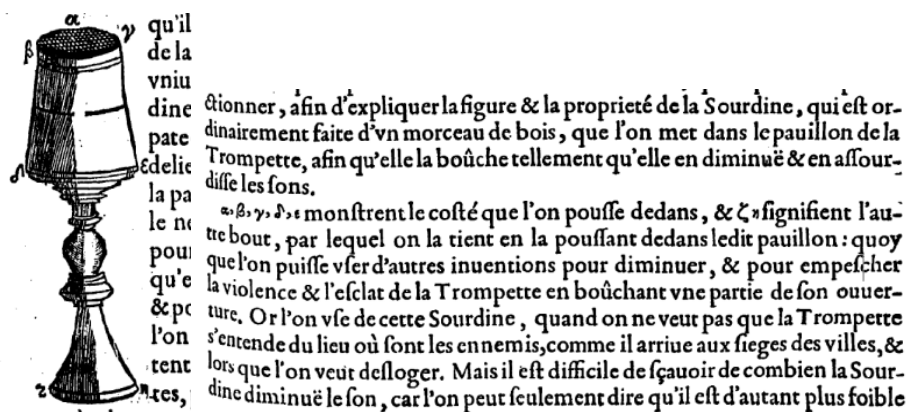
²⁸ A ópera, também de Lully, *Armide*, datada de 1686, é citada como exemplo de primeiras partituras a conterem instruções para o uso de surdinas por Sarch e Boyden, porém, a partitura de “*Le triomphe de l’Amour*” é cinco anos mais nova do que essa (BOYDEN, 1990; SARCH, 2017).

²⁹ “que serve somente para tocar (música de) alaúde ou violino de maneira fraca e obscura e que não seja bem escutada”. (tradução nossa)

Sourdine. Terme de Violon. C'est une maniere de petite plaque d'argent, ou d'autre chose, qu'on plié en arc et qu'on met sur le chevalet de l'instrument pour empêcher qu'il ne resonance fort. [Achetter une sourdine d'argent chez un orfevre]³⁰ (RICHELET, 1680, p. 395).

É citado ainda, na literatura a respeito do assunto, o tratado de Marin Mersenne, *Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique* (Paris, 1636), como uma referência ao uso de surdinas de violino ainda no século XVII (LOUGHRIDGE, 2016; BOYDEN, 1990; SARCH, 2017). Em tal obra, porém, na parte em que descreve os instrumentos de seu tempo, ao discorrer acerca do violino, não se encontra menção direta à surdina. O termo é citado explicitamente, com uma descrição detalhada, apenas como um dispositivo utilizado no trompete (Fig. 2.5). Porém, na seção dedicada ao violino, encontra-se a seguinte observação do autor ao descrever peculiaridades do instrumento: “[...] *qu'il perd une grande partie de son harmonie quand on met une clef, ou quelque'autre chose semblable sur son chevalet [...]*”³¹ (MERSENNE, 1636, p. 390). Ou seja, uma descrição dos efeitos de uma surdina, o que explicaria a menção do tratado na literatura acerca das surdinas de violino.

Figura 2.5 – Fac-símile de imagem do tratado de Mersenne da surdina para trompete e parte do trecho original em que ele a descreve.



(fonte: MERSENNE, 1636)

O autor, porém, não utilizou a palavra surdina ao descrever tal efeito, mesmo já conhecendo a mesma e seu uso na prática musical, citando-a em relação ao trompete, não

³⁰ “Surdina. Termo de Violino. É uma espécie de pequena placa de prata ou de outra coisa, que se curva em arco e coloca-se sobre o cavalete do instrumento para impedir que ele ressoe fortemente. (Comprar uma surdina de prata em uma ourivesaria.” (tradução nossa)

³¹ “que ele (o violino) perde uma grande parte de sua harmonia (sonoridade) quando se coloca uma chave, ou qualquer outra coisa similar sobre seu cavalete.” (tradução nossa)

estendendo o mesmo conceito à utilização em performance de instrumentos de cordas (LOUGHRIDGE, 2021).

2.1.1.2 *Natureza e função original das surdinas*

Atualmente, tem-se muito clara a função da surdina como sendo um meio de variação da sonoridade dos instrumentos de corda, ou seja, a alteração da natureza do timbre dos mesmos, à parte a maior ou menor alteração na intensidade, pode ser considerada o motivo estético para a utilização do dispositivo em performances musicais. Trata-se de um recurso para ampliar a paleta sonora, as “cores”, disponíveis aos compositores no momento em que a instrumentação de uma dada composição é pensada (seja ela solo, de câmara ou sinfônica), sobretudo levando-se em consideração que a escolha dos instrumentos, e, mesmo de seus diferentes timbres possíveis, tornou-se um elemento estruturante da composição a partir de fins do séc. XVIII, começo do XIX.

Anteriormente, porém, o papel da instrumentação tinha outro peso e outra concepção na prática composicional, como comenta Nikolaus Harnoncourt em seu livro *O Diálogo Musical: Monteverdi, Bach e Mozart*, acerca da prática de instrumentação dos sécs. XVI e XVII:

Como não era habitual a prescrição de uma instrumentação precisa, na acepção moderna do termo, tanto para o contínuo quanto para o resto da orquestra, os instrumentos eram divididos em dois grupos: instrumentos “fundamentais” e instrumentos “ornamentais”. Essa divisão, aliada às considerações de associação dos instrumentos, governavam o seu emprego. (HARNONCOURT, 1993, p. 36)

Se a música anterior a esse período (fins do séc. XVIII) era capaz de preservar (em maior ou menor medida) sua identidade essencial diante de uma eventual troca da instrumentação original, o mesmo não se pode dizer da produção musical posterior a ele. Podemos ouvir uma fuga de Bach com diferentes arranjos instrumentais sem que o essencial do jogo polifônico, sua natureza primeira, seja necessariamente perturbada; por outro lado, é muito difícil imaginar, por exemplo, uma música como o “*Prélude pour l’après-midi d’un faune*” (1894), de Debussy, com uma orquestração diferente daquela criada pelo compositor especificamente para esta obra (na qual, diga-se de passagem, as cordas com surdina encontram um uso extremamente consistente): a escolha dos instrumentos é parte da essência mesma da identidade da composição.

Levando-se em consideração, porém, a relativa pouca importância dada à definição dos timbres, enquanto fator determinante, no todo da composição musical, prevalecente até

meados do séc. XVIII, e relacionando-a com outras evidências, pode-se concluir que a motivação primeira para a utilização das surdinas estava ligada, basicamente, à atenuação do som dos instrumentos nos quais era empregada. Apesar do pequeno número de exemplares legítimos do séc. XVIII, ou anteriores, disponíveis (os dispositivos são de difícil autenticação, geralmente, datados de acordo com os instrumentos junto aos quais foram encontrados), em seu artigo Loughridge levanta inúmeros indícios que permitem concluir que as primeiras surdinas teriam como material preferencial para sua fabricação o metal (LOUGHRIDGE, 2016), ideia bastante estranha ao instrumentista atual. Por serem mais pesadas e rígidas, as surdinas de metal implicam em um grande amortecimento do som dos instrumentos, além de salientarem determinadas características de sonoridade que, em geral, não são consideradas de melhor qualidade para a performance na atualidade. Isso a tal ponto que, hoje, praticamente só são encontradas surdinas feitas exclusivamente de metal na categoria das surdinas de estudo, ou seja, abafadores para limitar, o máximo possível, o som dos instrumentos.

Na já citada obra de Mersenne as observações do autor não consideram, em absoluto, a questão da alteração do timbre. Seja em sua observação feita apenas em relação à perda de intensidade do som do instrumento quando comenta sobre o violino, sem mencionar explicitamente o termo surdina, ou em outras passagens, quando fala de outros instrumentos, em particular do trompete, com o qual utiliza o termo, indicando na verdade uma visão específica das surdinas ligada basicamente à perda de intensidade, de um ponto de vista bem pragmático. Ao se referir à surdina de trompete e sua função, por exemplo, o teórico francês escreve: *“Or l’on use de cette Sourdine, quando on ne veut pas que la Trompette s’entende du lieu où sont les ennemis, comme il arrive aux sièges des villes, et lors que l’on veut desloger”*³² (MERSENNE, 1636, p. 259). Em outro trecho de seu tratado, Mersenne, ao referir-se ao abafamento da Espineta, feito com tecido colocado sobre as cordas diz: *“[...]c’est pourquoy il est fort propre pour ceux qui désirent d’apprendre à jouer de l’Epinette sans que les voisins le puissent appercevoir; de là vient que l’on peut la nommer Epinette sourde, ou muette”*³³ (MERSENNE, 1636, p. 114). Somente o uso ligado à redução da sonoridade dos instrumentos é relatado.

³² “Ora utiliza-se desta Surdina, quando não se quer que o Trompete seja escutado de longe onde estão os inimigos, como acontece nos cercos de cidades e se quer desalojá-las”. (tradução nossa)

³³ “[...] é por isso muito propício (o abafamento com roupas) àqueles que desejam aprender a tocar a Espineta sem que os vizinhos se apercebam; daí vem poder-se nomeá-la Espineta surda, ou muda.” (tradução nossa)

No *Dictionnaire* de Richelet a descrição do artefato indica: “[...]petite plaque d’argent, ou d’autre chose [...]”³⁴ (RICHELET, 1680, p. 395), que, embora admita “outra coisa” em sua fabricação, sugere preferencialmente o metal.

É também conhecida uma especificação feita por Vivaldi (1678-1741) de violinos “*con piombi*” (“com chumbo”), encontrada em obras sacras vocais de 1710 e na ópera “Orlando”, de 1724, que apresenta uma rara indicação do material a ser usado na confecção da surdina. Chama a atenção que esse metal pesado reforçaria, ainda mais, a perda de intensidade dos instrumentos. Se era uma demanda apenas para um efeito reforçado específico ou não, impossível dizer. Já o uso que Lully faz do dispositivo, sobretudo na ópera, relacionado a passagens de encantamento sobrenatural ou de sonho que, anteriormente, eram geralmente confiadas às violas da Gamba, instrumentos de sonoridade sabidamente mais contida do que os violinos, sugere, também, a relação com a demanda básica de diminuir a intensidade do som. No mesmo sentido há duas passagens na Paixão segundo São João (1724), de J. S. Bach na qual ele pede violinos com surdina quando violas d’amore (instrumentos de intensidade, também, menor do que a dos membros da família do violino) não estivessem disponíveis³⁵ (LOUGHRIDGE, 2016).

Em concordância com a ideia de que, desde seu surgimento, até fins do séc. XVIII, haveria uma clara preferência pelas surdinas de metal, em outra fonte consultada, o artigo *Metallic Mutes Used in the Eighteenth Century* (AHRENS, 2007), Christian Ahrens descreve pesquisas realizadas com documentos da corte de Sondershausen³⁶, onde se levantaram indícios consistentes de que os violinistas e violistas dessa localidade utilizavam surdinas feitas de metal. Ao levantar contas da câmara (*Kammerrechnungen*) da corte, de 1738/39, descreve a seguinte anotação:

10 Gr. gertler [Gürtler] vor 10. Dämpffer auf die Violinen
(to the metalworker for 10 violin mutes³⁷)
(AHRENS, 2007, p. 220)

O autor observa que, embora não seja especificado o material de que seriam feitas as surdinas a serem adquiridas, a indicação do profissional que as forneceria evidenciaria a sua natureza:

³⁴ “pequena placa de prata, ou outra coisa”. (tradução nossa)

³⁵ Não se pode afirmar que os compositores de então não fossem sensíveis às alterações na sonoridade (timbre), decorrentes do uso das surdinas para a redução da intensidade; no entanto, dentro do contexto da prática de instrumentação da época, faltam evidências de um uso deliberado que objetivasse a alteração do timbre em si.

³⁶ Cidade alemã localizada no distrito de Kyffhäuserkreis, no estado da Turíngia, região central da atual Alemanha.

³⁷ “para o serralheiro (ourives ou outro artesão especializado em metais) para 10 surdinas de violino”, (tradução nossa).

Due to the very restrictive guild laws of the time it was impossible for the court metalworker to have used wood, as the use of this material was reserved for the court carpenter. Therefore, there can be no doubt that the ten violin mutes purchased by the Sondershausen court in 1738/1739 really were made of metal.³⁸ (AHRENS, 2007, p. 220)

O autor ainda apresenta (dentre outras), uma segunda nota, de 1765, que endossaria a conclusão a respeito do material de fabricação dos dispositivos adquiridos em 1738/39, com a especificação explícita acerca da natureza e destino das surdinas adquiridas:

1 Thlr. 21 Gr. Vor 15 stück stählerne Sordinen so unter die Capellisten vertheilet worden, so Violinen und Bratzschen [Bratschen] spielen
(for 15 steel mutes, given to those chapel musicians playing violins and violas³⁹)

Também no tratado de Johann Joachim Quantz, *Versuch einer Anweisung die Flöte traversiere zu spielen*,⁴⁰ escrito em 1752, há um verbete a respeito do uso de surdinas em instrumentos de cordas onde são citados vários materiais possíveis para a fabricação de surdinas, mas, conclui-se ser o aço o melhor material para ser usado, diante do efeito ruim das outras alternativas. Observa também que o uso do dispositivo poderia atender a uma ampla gama de necessidades expressivas, sugerindo que a sonoridade da surdina não possuiria apenas um único caráter, mas serviria para realçar a expressão musical de forma geral (LOUGHRIDGE, 2016). Informação relevante sobretudo quando se considera que, nessa época, a consciência musical, a percepção do timbre em si, já é vista com outra significação. Do mesmo período, o conhecido tratado de Leopold Mozart, *Versuch einer gründlichen Violinschule*, de 1756, apresenta, também, no verbete relativo à surdina, citados como materiais possíveis para a fabricação da mesma, apenas a madeira e alguns diferentes metais: “[...] um pequeno acessório, feito de madeira, aço, chumbo ou bronze,[...]” (SILVA, 2014, p. 48). Descreve, porém, o objetivo de seu uso nos seguintes termos: “[...] a fim de exprimir algo mais calmo e triste” (SILVA, 2014, p. 48), o que já sugere uma compreensão outra da função das surdinas, que vai além da mera atenuação da intensidade do som dos instrumentos.

No *Dictionnaire de Musique*, de Jean-Jacques Rousseau, de 1768, encontra-se o seguinte verbete:

³⁸ “Devido às leis muito restritivas das corporações da época era impossível o serralheiro da corte ter usado madeira, já que o uso desse material era reservado ao carpinteiro da corte. Assim sendo, não pode haver dúvida de que as dez surdinas de violino compradas para a corte de Sondershausen em 1738/1739 realmente eram feitas de metal.” (tradução nossa)

³⁹ “por 15 surdinas de aço, dadas aos músicos de capela que tocavam violinos e violas”. (tradução nossa)

⁴⁰ Além das informações apresentadas por Loughridge, foi consultada também a tradução francesa *Essai d'une méthode pour apprendre à jouer de la flute traversière: avec plusieurs remarques pour servir au bon goût dans la musique le tout éclairci par des exemples et par xxiv. tailles douces*, Ed. Chez Chretien Frederic Voss, capítulo XVII, seção 2, § 29 (QUANTZ, 1752, p. 207).

SOURDINE: Petit Instrument de cuivre ou d'argent qu'on applique au chevalet du Violon ou du Violoncelle pour rendre les Sons plus sourds et plus faibles en interceptant et gênant les vibrations du corps entier de l'Instrument. La Sourdine en affaiblissant les Sons change leur tymbre et leur donne un caractère extrêmement attendrissant et triste. Les Musiciens Français qui pensent qu'un jeu doux produit le même effet que la Sourdine et qui n'aiment pas l'embaras de la placer et deplacer ne s'en servent point. Mais on en fait usage avec un grand effet dans tous les Orchestres d'Italie et c'est parce qu'on trouve souvent ce mot Sordini écrit dans les Symphonies que j'en ai dû faire un article.

Il y a des Sourdines aussi pour les Cors-de-chasse, pour le Clavecin etc.⁴¹ (ROUSSEAU, 1768, p. 461)

O autor indica cobre ou prata (apenas metais) como materiais utilizados para a fabricação das surdinas, mesmo que o efeito de alteração no timbre dos instrumentos já seja observado, em sintonia com a nova importância atribuída ao timbre na composição musical a partir da segunda metade do séc. XVIII.

Por fim, na *Encyclopédie méthodique, arts e métiers mécaniques*, de 1785, a definição de Rousseau é atualizada, incluindo em seu verbete relativo à surdina outros materiais possíveis para sua fabricação: “*On donne encore le nom de sourdine à la petite plaque d'argent, de cuivre, d'ivoire, ou de bois, [...]*”⁴² (DE LA ROCHE, M. et al., 1785, p. 27).

A alteração da função atribuída às surdinas, de meros abafadores para um novo recurso de timbre, determinará, então, as características de sua confecção, em particular em relação ao material utilizado. Em seu tratado para a prática de violino, *L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves*, de 1834, Pierre Baillot observa em relação ao uso do dispositivo, demonstrando completa consciência do que seria reconhecido, já então, como seu objetivo real:

Il est donc essentiel de se servir de la sourdine toutes les fois que le Compositeur a fait connaître son intention à cet égard; ce serait vainement que l'un croirait y suppléer en jouant très piano: nous pensons avoir assez fait sentir que rien ne pouvait tenir lieu de cet effet de timbre.⁴³ (BAILLOT, 1834, p. 221)

⁴¹ “Surdina: pequeno instrumento de cobre ou prata que se aplica ao cavalete do Violino ou do Violoncelo para tornar os Sons mais abafados e mais fracos interceptando e limitando as vibrações do corpo inteiro do instrumento. A surdina ao enfraquecer os sons altera seu timbre e lhe dá um caráter extremamente terno e triste. Os músicos franceses que pensam que um tocar suave produz o mesmo efeito que a Surdina e que não gostam do incômodo de a colocar e tirar não a utilizam. Mas se faz uso dela com grande efeito em todas as Orquestras da Itália e como se encontra frequentemente essa palavra Surdina escrita nas Sinfonias que fiz dela um artigo. Há Surdinas também para as Trompas e para o Cravo etc.” (tradução nossa)

⁴² “Dá-se ainda o nome de surdina à pequena placa de prata, de cobre, de marfim ou de madeira [...]” (tradução nossa)

⁴³ “É portanto essencial utilizar a surdina todas as vezes que o Compositor fizer conhecer sua intenção a esse respeito; seria realmente vão acreditar-se substituí-la tocando muito *piano*: nós pensamos ter deixado claro que nada pode substituir esse efeito de timbre.” (tradução nossa)

Somente no fim do séc. XVIII, portanto, junto ao amadurecimento da instrumentação como elemento estruturante e definidor da composição musical, quando as surdinas passam a ser conscientemente encaradas como um recurso de alteração do timbre, é que são encontradas indicações da mudança de preferência das surdinas feitas de metal para as feitas de madeira (Fig. 2.6), que tornar-se-ão o padrão ao longo do séc. XIX, (Berlioz, em seu tratado de 1844, por exemplo, as define como dispositivos feitos de madeira⁴⁴), só sendo desbancadas no séc. XX frente ao advento de novos materiais como a borracha e o plástico, junto a outras propostas de design.

Figura 2.6 – Réplica de uma surdina feita de boxwood (*Buxus sempervirens*), do séc. XVIII, provavelmente italiana, a original tendo sido encontrada em um violino bolonhês do séc. XVIII.



(fonte: LOUGHRIDGE, 2016, p. 431)

2.1.2 Tipos de surdinas e seu uso

A indicação para a colocação das surdinas vem disposta nas partituras, geralmente, sobre o pentagrama, sendo a forma mais comum a expressão em italiano “*con sordino*” ou “*con sordina*” (plural *sordini*, *sordine*); são encontradas também, nas edições musicais, expressões em francês: “*avec sourdines*”; em alemão: “*mit Dämpfer*” (Fig. 2.7) ou “*gedämpft*”; e, mais raramente, em inglês: “*put on mutes*”. O uso dos dispositivos deve ser mantido até que a instrução para a sua retirada apareça na partitura. Em sua forma mais comum, em italiano: “*senza sordino(i)*” ou, mais raramente, “*via sordini*”; em francês “*sans sourdines*” ou “*ôtez les*

⁴⁴ Vide citação p. 97.

sourdines”, em alemão, “*ohne Dämpfer*” (Fig. 2.7) ou “*Dämpfer weg*”, e em inglês, “*take off mutes*” (PISTON, 1955; KENNAN, GRANTHAM, 2002; MED, 1996; GRANTHAM, 2002;).

Figura 2.7 – Excerto da “*Verklärte Nacht*” (1902) de Schoenberg, (composta originalmente para sexteto de cordas – na grade, de cima para baixo, 1º e 2º violinos, 1ª e 2ª violas e 1º e 2º violoncelos), na qual o compositor especifica claramente quais instrumentos utilizarão surdina: “* 1º violino, 2ª viola e 2º cello sem surdina; 2º violino, 1ª viola e 1º cello com surdina” (tradução nossa).

The image shows a musical score for the string sextet of 'Verklärte Nacht'. It consists of five staves. The first staff is for the Violin I, with a dynamic marking of *pp* and the instruction 'mit Dämpfer'. The second staff is for the Violin II, also with *pp* and 'mit Dämpfer'. The third staff is for the Viola I, with *pp* and 'pizz. ohne Dämpfer'. The fourth staff is for the Viola II, with *pp* and 'mit Dämpfer'. The fifth staff is for the Cello, with *pp* and 'ohne Dämpfer'. The score is divided into two measures. The first measure is marked 'ohne Dämpfer' and the second 'rit.'. There are various performance markings such as 'wild, leidenschaftlich' and 'ff'.

* 1. Geige, 2. Bratsche u. 2 Cello spielen ohne Dämpfer; 2. Geige, 1. Bratsche u. 1 Cello mit Dämpfer

16 Verklärte Nacht

(fonte: Petrucci Music Library⁴⁵ - <http://imslp.org/>)

Pode ser pedido o seu uso em todas as cordas da orquestra, ou conjunto de câmara, ou em naipes⁴⁶ específicos (por exemplo, somente nos violoncelos). É possível também obter-se uma mudança de timbre gradual das cordas da orquestra, ou outras formações instrumentais, colocando-se as surdinas naipes por naipes, quando existirem, um de cada vez, em sequência, ou com cada músico, individualmente, adotando o mesmo procedimento. O compositor pode ainda, se necessário, determinar usos específicos quando for desejada uma combinação de timbres ou determinado equilíbrio mais particular como, por exemplo, na “*Verklärte Nacht*” (“A Noite transfigurada”), de Arnold Schoenberg, de 1902, originalmente composta para sexteto de cordas, na qual o compositor especifica exatamente, em determinada passagem, quais instrumentos devem estar com surdina (Fig. 2.7).

Dentre toda a bibliografia levantada para a pesquisa, o único material encontrado que apresenta alguma proposta de classificação descritiva para as surdinas é o artigo *CON SORDINO: The Art of the Mute*, de Kenneth Sarch, que relaciona uma grande variedade de

⁴⁵ Disponível em: <http://imslp.org/>. Acesso em: 21 jul. 2020.

⁴⁶ Naipes: denominação de um grupo de instrumentos do mesmo tipo em uma orquestra, que tocam, geralmente, uma mesma parte musical (por exemplo: naipes dos primeiros violinos, naipes dos contrabaixos etc.).

tipos de surdinas (Fig. 2.8). No restante da bibliografia a que se teve acesso, eventualmente, encontram-se observações a respeito da natureza das surdinas, acerca do material de que são feitas e, sobretudo, em relação ao seu peso, mas, de maneira pontual, sem desenvolver nenhuma tentativa de classificação mais ampla⁴⁷. O único a propor uma categorização foi Sarch, que define em seu artigo quatro funções para as surdinas:

The Four Functions of Mutes:

1. Solo Mute: For large concert halls and solos with orchestra and concert grand pianos. The solo mute provides a muted effect, but with a full sound—without damping the overtones so that the tone quality of the instrument is not changed.
2. Orchestra Mute: Provides damping of volume (less volume than the solo mute) with quality of tone and clarity. Permanent storage on the instrument for ease of quickly placing mute on and taking it off is often a desired feature.
3. Sonata, Chamber Music, and Contemporary Music Mute: A mute that provides the desired tone color and volume according to the musical requirements of the composition. Unless there is not enough time to place or remove the mute, this mute does not need to be attached to the instrument. The tone quality of the mute selected—nasal, mellow, less volume, more volume, shrill, warm, metallic, clear, foggy—can be different as needed for the particular music.
4. Practice Mute: The main purpose of this type of mute is to dampen the volume to a very, very soft level so as not to disturb anyone nearby: hotel room, someone sleeping, apartments, close to a rehearsal going on, and so on.⁴⁸ (SARCH, 2017, p. 25)

Estabelece, igualmente, uma lista de características associadas às surdinas:

Mute Factors:

- Material
- Design—Number of contact points or prongs
- Weight or density
- Ease of use
- Location on bridge
- Price⁴⁹ (SARCH, 2017, p. 25)

⁴⁷ Diferentemente da situação das surdinas para metais, principalmente para trompete, para os quais existe uma grande variedade de tipos de surdinas que produzem efeitos bastante distintos, claramente definidos, sendo alguns dos tipos mais conhecidos: *Straight*, *Solotone*, *Harmon (wah-wah)* e *Cup* (FLETCHER; ROSSING, 2012).

⁴⁸ “As Quatro Funções das Surdinas: 1. Surdina para solos: para grandes salas de concerto e solos com orquestra ou piano. A surdina para solo produz um efeito de atenuação, mas com um som cheio – sem abafar os harmônicos de tal forma que a qualidade da sonoridade do instrumento não é mudada. 2. Surdina para Orquestra: Produz uma atenuação de volume (menos volume do que a surdina para solo) com qualidade de sonoridade e clareza. Permanecer alocada no instrumento para facilidade de colocação e retirada é frequentemente uma característica desejada. 3. Surdina para sonata, música de câmara e música contemporânea: uma surdina que produz o timbre e volume desejados de acordo com as demandas musicais da composição. A não ser que não haja tempo suficiente para colocar e retirar a surdina, esta não precisa permanecer alocada no instrumento. O timbre da surdina selecionada – nasal, maduro, menos ou mais volume, estridente, quente, metálico, claro, nebuloso – deve ser diferente de acordo com as necessidades específicas de cada música. 4. Surdina para estudo: o propósito principal desse tipo de surdina é abafar o volume até um nível muito, muito suave, de tal forma que não incomode ninguém nas vizinhanças: seja em um quarto de hotel, a alguém dormindo, em apartamentos, próximo a um ensaio em andamento, e assim por diante.” (tradução nossa)

⁴⁹ “Fatores que caracterizam as surdinas: -material -formato, número de pontos de contato ou dentes - peso ou densidade -facilidade de uso - localização no cavalete – preço.” (tradução nossa)

Figura 2.8 – Foto da coleção de surdinas de Kenneth Sarch.



(fonte: SARCH, 2017, p. 24)

Em seguida, Sarch as descreve agrupando-as por suas características físicas, classificando-as, em sua maioria, em uma das quatro funções que especifica anteriormente. Se refere às “surdinas deslizantes” (“*sliding mutes*”), que são acopladas às cordas do instrumento, e às surdinas “com um dente”, “com dois dentes” e “com três dentes” (“*one-prong mute*”, “*two-prong mute*” e “*three-prong mute*”), confeccionadas com diferentes materiais (borracha, madeira, couro, plástico e combinações de mais de um material), como surdinas para utilização em performance; já as surdinas com quatro ou cinco dentes, listadas por ele, são todas para estudo, o que é lógico já que o grande tamanho e área de contato desses tipos de surdina produz efeitos muito fortes de atenuação. Lista ainda, entre as surdinas para estudo, também dispositivos com dois ou três dentes, cujo material de que são feitos, algum tipo de metal, borracha ou plástico mais densos, determinaria tal característica, apesar de serem menores e mais leves e terem menor área de contato com o cavalete.

Merece menção a surdina desenvolvida por demanda de Jascha Heifetz⁵⁰, como um caso conhecido de uma busca mais conscienciosa por um dispositivo de efeito controlado. Insatisfeito com as surdinas então disponíveis no mercado, que geralmente produziam uma atenuação exagerada no som do instrumento para a execução de solos acompanhados por orquestra (como é pedido, por exemplo, no movimento lento do concerto de Tchaikovsky para violino e orquestra, em Ré M, opus 35), o célebre violinista teria trabalhado junto ao artesão e

⁵⁰ Jascha Heifetz, nascido em [Vilnius, Lituânia \(1901-1987\)](#) foi um dos maiores [virtuosos](#) da [história](#) do [violino](#).

inventor Henryk Kaston, do Brooklyn, Nova York, em meados da década de 1940, no desenvolvimento de um protótipo de surdina. Após inúmeras tentativas, foi patenteado em 1947 um modelo de surdina, com um único dente longo, que consistia em um grampo de metal recoberto por borracha (SARCH, 2017). O dispositivo mostrou-se bastante eficiente, possibilitando regulagens variadas de acordo com o tanto que se deslizesse o seu único dente sobre o cavalete, além de poder ser acoplado em diferentes posições sobre o mesmo. Entretanto, a colocação do dispositivo não é muito prática, já que o grampo oferece alguma resistência para encaixar no cavalete. Teve a produção descontinuada em 1968, voltando a ser fabricado, porém, em 1995 após uma atualização do modelo⁵¹, estando disponível até hoje para compra.⁵²

Embora não seja objetivo da presente pesquisa estabelecer um sistema de classificação para as surdinas, cabe observar que o encaminhamento dado por Sarch ao assunto parece pertinente, embora, em relação ao agrupamento pelo tipo físico, a denominação de deslizantes (“*sliding mutes*”) não seja muito exata, já que muitas das outras surdinas descritas em outras categorias, também deslizam pelas cordas, antes do cavalete, quando em repouso. A diferença mais significativa é que tais dispositivos são fixos, na verdade, às cordas, dependendo das mesmas para entrarem em contato com o cavalete, enquanto os demais tipos são encaixados diretamente ao mesmo (poderiam ser colocadas no cavalete mesmo sem as cordas). Por esse motivo, na descrição adotada na presente pesquisa, essa categoria de surdinas (“*sliding mutes*”) será denominada como “surdinas fixadas às cordas”, em oposição às “surdinas fixadas ao cavalete”. Quanto à classificação em relação à função, é preciso levar-se em consideração que a concepção original de um dispositivo pode não ser a única possibilidade de uso do mesmo. Questões relativas à estilística ou experimentalismo podem ressignificar a função proposta originalmente para uma dada surdina. Por exemplo, grupos especializados em PHI (Performance Historicamente Informada) podem optar pela escolha de determinado tipo de surdina, tendo em vista a contextualização da execução de alguma peça antiga, em desacordo com o que seria a opção mais usual atual. Da mesma forma, ao se considerar as surdinas de estudo, deve-se levar em conta ser possível a sua utilização em um contexto de performance, onde, no âmbito da música contemporânea, por exemplo, há registro da prática de solicitar tipos específicos de surdinas, visando algum efeito sonoro particular, como em trabalhos de Clara

⁵¹ Sexta surdina da esquerda para a direita, na primeira fileira da figura 3.4 (coleção de surdinas de Kenneth Sarch, fonte: SARCH, 2017, p. 24)

⁵² Informações disponíveis em: <http://violinmutes.com/index.php/history/>. Acessado em 15/05/2018.

Iannotta ou Luciano Berio⁵³. Nesse ínterim, portanto, é necessária uma abordagem que comporte certa flexibilidade, para uma classificação consistente das surdinas por função.

2.1.3 As surdinas na literatura musical

Em dicionários específicos de termos musicais, geralmente, há entradas relacionadas às surdinas utilizadas em instrumentos musicais com maior ou menor detalhamento. No *Grove Music Online*, por exemplo, encontra-se um verbete para surdina relacionado a diferentes instrumentos, postado desde 2001, com a seguinte definição, acerca do uso em instrumentos de cordas:

Mute (Fr. *sourdine*; Ger. *Dämpfer*; It. *sordino*)

A mechanical device used on musical instruments to muffle the tone, i.e. to alter the timbre; the volume is usually somewhat decreased in the process.

[...]

1. Strings.

In instruments of the violin family the typical mute takes the form of a three-pronged clamp (sometimes two- or five-pronged), made of such materials as metal (particularly steel and aluminium), ivory, bakelite or wood (especially ebony and boxwood). Attached to the bridge, the mute absorbs some of the vibrations and makes the sound relatively veiled and a bit nasal; the degree of muting and the difference of tone-colour depend on the material used for the mute, its mass and the firmness with which it is attached to the bridge (see Acoustics, §II, 4). Originally a separate accessory, the mute is sometimes installed on the instrument between bridge and tailpiece, to be pushed up against the bridge for muting as needed. ‘Practice’ mutes are exceptionally heavy, and are used to decrease the volume to a fraction of the normal sound for convenience when practising (their use in concert performance is occasionally requested). A ‘wolf mute’ is sometimes used to correct the Wolf effect at the major 6th or 7th above the open G string of the cello.

The mute has been used on bowed string instruments since at least the 17th century, and was described by Mersenne (1636–7). Mutes are specified in all five string parts in several passages in Act 2 (scenes iii and iv) of Lully’s *Armide* (1686), among them the famous air ‘Plus j’observe’ (scene iii). Similarly Purcell specified mutes for the violins in the air ‘See, even night herself is here’ from *The Fairy Queen* (1692)⁵⁴. (MUTE, 2001)

⁵³ Na peça *Paw Marks in the wet cement*, por exemplo, a autora solicita ora surdinas de madeira, ora de metal. Em *Sequenza*, Luciano Berio pede surdinas de metal.

⁵⁴ “Surdina (Fr. *sourdine*; Ger. *Dämpfer*; It. *sordino*)

Dispositivo mecânico usado em instrumentos musicais para amortecer a sonoridade, i.e., alterar o timbre; o volume geralmente diminui um pouco no processo.

[...]

1. Cordas.

Nos instrumentos da família do violino, a surdina típica assume a forma de um grampo com três dentes (às vezes de dois ou cinco dentes), feito de materiais como metal (principalmente aço e alumínio), marfim, baquelite ou madeira (especialmente ébano e buxo). Colocada no cavalete, a surdina absorve parte das vibrações e torna o som relativamente velado e um pouco nasalado; o grau de amortecimento e a diferença de tonalidade dependem do material usado na surdina, sua massa e a firmeza com que é presa ao cavalete (ver Acústica, §II, 4). Originalmente um acessório separado, a surdina às vezes é instalada no instrumento entre o cavalete e o estandarte, para ser deslocada até o cavalete para abafar quando necessário. Surdinas de ‘estudo’ são excepcionalmente pesadas e

Também no *The Harvard Dictionary of Music* (ARBEAU, 1970) há um verbete de emprego amplo para *mute*, com o seguinte trecho, específico para cordas:

Mute [F. *sourdine*; G. *Dämpfer*; It. *sordino*; Sp. *sordina*]. A device for softening or muffling the tone of a musical instrument. In violins, etc., the mute is a clamp with three (occasionally two or five) prongs that is placed on the bridge and makes the tone veiled and somewhat nasal. It is usually called for by the phrase *con sordini*. It has been frequently used to convey a mysterious or uneasy atmosphere, one of the earliest examples being in Act II, Scenes iii and iv of J.-B. Lully's *Armide* (1686), marked "sourdines." Beethoven used muted violins in the prison scene of *Fidelio*, and Berlioz for the "Ballet des Sylphes" of his *La Damnation de Faust*, to mention only a few of the earlier instances. Muted cellos and double basses are used very effectively at the beginning of Stravinsky's *L'Oiseau de feu*⁵⁵. (...) (ARBEAU, 1970, p. 561)

Em livros de teoria geral da música também é comum encontrar uma descrição sumária e instruções relativas ao uso prático, como, por exemplo, o verbete na obra *Teoria da Música*, de Bohumil Med, incluído no capítulo relativo a *Termos especiais a vários instrumentos*:

Con sordini, com sord. (Dämpfer – alem.) = usar surdina (uma espécie de abafador do som que se coloca nos instrumentos para modificar e diminuir o som).
Senza sordini, senza sord. = tocar sem surdina.
Via sordini ou Alzato sordini = tirar a surdina. (MED, 1996, p. 259)

Ou em obras mais generalistas, como no amplo compêndio histórico-teórico acerca da estética da música ocidental, *Expressão e Comunicação na Linguagem da Música*, do maestro Sergio Magnani, no qual ele cita genericamente o uso de surdina ao descrever o violino: "Uma posterior modificação do som é provocada pelo emprego da surdina, que, colocada sobre as cordas, abafa as vibrações da caixa harmônica" (MAGNANI, 1989, p. 242).

Em *The History of Violin Playing from its Origins to 1761: and its Relationship to the Violin and Violin Music* (BOYDEN, 1990), o autor apresenta várias informações de caráter

usadas para diminuir o volume para uma fração do som normal para poder se praticar convenientemente (seu uso em concertos é ocasionalmente solicitado). Um 'tira lobo' às vezes é usado para corrigir o lobo na 6ª ou 7ª maior acima da corda Sol solta do violoncelo.

A surdina tem sido usada em instrumentos de arco desde pelo menos o século XVII e foi descrita por Mersenne (1636-1637). As surdinas são especificadas em todas as cinco partes de cordas em várias passagens do Ato 2 (cenas iii e iv) de *Armide* (1686), de Lully, entre elas a famosa ária 'Plus j'observe' (cena iii). Da mesma forma, Purcell especificou surdinas para os violinos na ária 'See, even night herself is here' de *The Fairy Queen* (1692)." (tradução nossa)

⁵⁵ "Surdina [F. *sourdine*; G. *Dämpfer*; It. *sordino*; Esp. *sordina*]. Um dispositivo para suavizar ou abafar o som de um instrumento musical. Nos violinos, etc., a surdina é um grampo com três (ocasionalmente dois ou cinco) dentes que é colocado no cavalete e torna o som velado e um tanto nasal. Geralmente é pedido pela expressão *con sordini*. Tem sido frequentemente usada para transmitir uma atmosfera misteriosa ou desconfortável, sendo um dos primeiros exemplos o Ato II, Cenas iii e iv de *Armide* de J. B. Lully (1686), marcado com "sourdines". Beethoven usou violinos com surdina na cena da prisão de *Fidelio*, e Berlioz para o "Ballet des Sylphes" de seu *La Damnation de Faust*, para mencionar apenas alguns dos exemplos anteriores. Violoncelos e contrabaixos com surdina são usados de forma muito eficaz no início de *L'Oiseau de feu* de Stravinsky." (tradução nossa)

histórico e estilístico a respeito do dispositivo, apresentando em seu glossário de termos específicos o seguinte verbete:

Mute (sordino): a device for muffling or damping the sound of instruments. The usual mute for strings is a pronged clamp placed on the bridge⁵⁶. (BOYDEN, 1990, p. 527)

Nos tratados de técnica instrumental, o uso das surdinas não costuma ser muito detalhado, com poucas exceções, notadamente, na conhecida obra de Leopold Mozart, *Versuch einer gründlichen Violinschule*⁵⁷, de 1756, onde há um curto verbete⁵⁸ sobre o dispositivo, no qual o autor explica de maneira sucinta sua natureza e função; uma menção um pouco mais detalhada⁵⁹ no *L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves*⁶⁰, de 1834, de Pierre Baillot; e por fim, enquanto nas obras relativas à prática e à técnica do violino de Galamian e Menuhin não sejam citadas (SARCH, 2017), na obra de Carl Flesch, *The Art of the Violin Playing*⁶¹, de 1939, o autor comenta sobre a prática com surdinas de forma um pouco mais extensa:

A mute, which can be of a variety of materials (in earlier times only wood, bone, or metal, but now also rubber or plastic), produces the muting or softening of the tone in a mechanical manner. From experience wood seems to be the most advantageous tonally. A “practice mute” dampens the sound even more; this may make it possible to play or practice in places where it would otherwise not be feasible. Here we might also mention they so-called “mute violin” – a skeleton with fingerboard and right upper bout only.

In general, we can consider the damping effect, as such, to be one of the cheapest devices of our art. A violinist of high artistic standards will only use it if prescribed by the composer. Habitual practice with mute is to be rejected, since this artificial type of tone production, while it might be ingratiating to the ear, gives a false impression, and could make the tone appear to be more beautiful than it is in reality. It is bet to use mutes that are low-profile as possible in order not to interfere with the use of the bow at the frog⁶². (FLESCH, 2000, p. 79)

⁵⁶ “Surdina (sordino): um dispositivo para abafar ou amortecer o som dos instrumentos. A surdina usual para cordas é um grampo dentado colocado no cavalete.” (tradução nossa)

⁵⁷ *Tratado sobre os princípios fundamentais para tocar violino*, tradução de Lílian Maria Pereira da Silva da versão em inglês *A Treatise on the Fundamental Principles of Violin Playing*, de Editha Knocker, publicada em 1948 pela Oxford University Press (SILVA, 2014).

⁵⁸ Vide página 87.

⁵⁹ Vide página 88.

⁶⁰ “A arte do violino: novo método dedicado a seus alunos”. (tradução nossa)

⁶¹ “A arte de tocar violino”. (tradução nossa)

⁶² “A surdina, que pode ser de uma variedade de materiais (antigamente apenas madeira, osso ou metal, mas agora também borracha ou plástico), produz o amortecimento ou suavização da sonoridade de maneira mecânica. Por experiência, as madeiras parecem produzir a sonoridade mais vantajosa. Uma “surdina de estudo” amortece ainda mais o som; isso pode tornar possível tocar ou praticar em locais onde de outra forma não seria possível. Aqui também podemos mencionar o chamado “violino mudo” – uma armação com espelho e apenas parte superior direita.

Em geral, podemos considerar o efeito de amortecimento, como tal, um dos recursos mais baratos de nossa arte. Um violinista de alto padrão artístico só o usará se prescrito pelo compositor. A prática habitual com surdina deve

Nos tratados de orquestração pesquisados não há muita informação a respeito do funcionamento dos dispositivos, se limitando também, geralmente, aos aspectos práticos de utilização do recurso. No *Grand traité d'instrumentation et d'orchestration modernes*⁶³, de Hector Berlioz, de 1844, o mais antigo dentre os verificados, há menção ao uso das mesmas na seção em que os recursos de orquestração do violino e demais instrumentos de arco são apresentados. O autor assim descreve as surdinas:

Les sourdines sont de petites machines em bois q'on place sur le chevalet des instruments à cordes pour affaiblir leur sonorite, et qui leur donnent em même temps um accent triste, mystérieux et doux, dont l'application est fréquemment heureuse dans tous les genres de musique.⁶⁴ (BERLIOZ, 1844, p.24)

Observa ser necessário dar tempo aos instrumentistas para colocar o dispositivo, para tanto sendo preciso haver uma pausa suficientemente grande nas partes que utilizarão a surdina antes do início de seu uso, o que, aliás, foi uma preocupação de todos os autores de tratados de orquestração analisados. Comenta, ainda, ser mais comum seu emprego em todos os naipes de cordas ao mesmo tempo, mas, não ser raro, eventualmente, um só naipe utilizar a surdina.

No seu *Traité de l'orchestration*, Charles Koechlin inclui um tópico a respeito da utilização dos dispositivos de maneira um pouco mais extensa, apresentando-as nos seguintes termos:

En de nombreux cas, elle est *absolument nécessaire* (et même dans les émissions radiophoniques, contrairement à l'opinion de quelque professionnels de la radiodiffusion). La Sourdine rend les plus grandes services, à l'orchestre aussi bien qu'en des quatuors à cordes: j'ajouterais qu'il n'est pas impossible de l'utiliser pour des soli (alto surtout, et violoncelle) jouant avec le reste du "quatuor" d'orchestre (en sourdine aussi, bien entendu).

Par la sourdine on réalise, principalement pour les 2^{ds} Violons et les Altos, des sonorités presque impondérables, qu'aucun autre groupe de l'orchestre ne saurait donner. En outre, les Cordes au besoin peuvent jouer *longtemps* de la sorte, tandis que des Clarinettes ou de Cors en sourdine se fatiguent des *ppp* pour lesquels il leur faut retenir le son, en y portant une attention constante⁶⁵. (KOECHLIN, 1954, p. 183)

ser rejeitada, uma vez que esse tipo artificial de produção de som, embora possa ser agradável ao ouvido, dá uma falsa impressão e pode fazer o som parecer mais bonito do que é na realidade. Aposta-se no uso de surdinas o mais discretas possível para não atrapalhar o uso do arco no talão.” (tradução nossa)

⁶³ “Grande tratado de instrumentação e de orquestração modernos”. (tradução nossa)

⁶⁴ “As surdinas são pequenos dispositivos de madeira que se coloca sobre o cavalete dos instrumentos de cordas para enfraquecer sua sonoridade, e que lhes dá ao mesmo tempo um acento triste, misterioso e doce, cuja utilização é frequentemente feliz em todos os gêneros de música.” (tradução nossa)



⁶⁵ “Em numerosos casos, ela é absolutamente necessária (e mesmo em transmissões radiofônicas, contrariamente à opinião de alguns profissionais da radiodifusão). A Surdina presta os maiores serviços, tanto à orquestra quanto ao quarteto de cordas: eu acrescentaria que não é impossível utilizá-la para os *soli* (viola principalmente, e violoncelo) tocando com o resto do “quarteto” da orquestra (com surdina também, evidentemente).

Por meio da surdina consegue-se, principalmente para os 2^{os} Violinos e Violas, sonoridades quase imponderáveis, que nenhum outro grupo da orquestra saberia entregar. Além disso, as Cordas, se necessário, podem tocar por longo tempo dessa forma, enquanto que os Clarinetes ou as Trompas com surdina se cansam dos *ppp* para os quais lhes é necessário segurar o som, exigindo uma atenção constante.” (tradução nossa)

Observa, a respeito do tempo necessário para a colocação ou retirada das surdinas, ser possível que os naipes de corda o façam estante por estante, para que não se interrompa a execução, nos trechos onde não há tempo hábil para a operação.

Ao longo de suas observações, diferentemente dos outros tratados, deixa claro que, em sua concepção, a utilização de surdinas pode ser uma decisão do intérprete, por diferentes razões, não restringindo seu uso somente à instrução do compositor:

La sourdine n'a point pour seul effet de voiler la sonorité; elle *adoucit* le jeu. Et particulièrement pour le *quatuor des soli*, si l'on écrit des doublés cordes assez hautes (1^{ère} et 2^{de} cordes) et qu'on veuille un son *très doux*, il ne faut pas hésiter à faire mettre la sourdine chaque fois que les exécutants ne sont pas des virtuoses hors ligne. Car,



sans la sourdine, une double corde telle que  et même  peut sonner aigre, même chez d'assez bons violonistes⁶⁶; (KOECHLIN, 1954, p. 183)

Na obra *Orchestration*, de Walter Piston há, também, uma breve apresentação do dispositivo:

The mute is a three-pronged device made of wood, metal, bone, or other materials, which can be fitted onto the bridge for the purpose of absorbing some of the vibrations before they can be transmitted to the resonating body of the instrument.⁶⁷ (PISTON, 1955, p. 35)

O autor observa, também, a necessidade de tempo para colocar e tirar o dispositivo, “[...]at least a couple of measures in moderate time”⁶⁸ (PISTON, 1955, p. 35), comentando que várias tentativas para desenvolver surdinas mais práticas e eficientes, nesse sentido, foram feitas, não havendo, entretanto, preferência entre os músicos por nenhuma das propostas disponíveis no mercado.

Na internet, a pesquisa do tópico remete muitas vezes a vídeos, principalmente locados no *YouTube*, onde existem em certo número, nacionais e estrangeiros, geralmente em canais dedicados ao público específico de instrumentistas de cordas e relacionados. Tais vídeos, porém, limitam-se a informações genéricas a respeito de surdinas para cordas, em sua maior

⁶⁶ “A surdina não tem por único efeito velar a sonoridade; ela *suaviza* o tocar. E particularmente para o *quarteto de soli*, se escreve-se cordas duplas muito altas (1^a e 2^a cordas) e se deseje uma sonoridade *mais doce*, não se deve hesitar em pedir a colocação da surdina quando os executantes não são virtuosos de primeira linha. Porque, sem a surdina, cordas duplas como  e mesmo  podem soar ásperas, mesmo nas mãos de violinistas muito bons;” (tradução nossa)

⁶⁷ “A surdina é um dispositivo de três dentes, feito de madeira, metal, osso, ou outros materiais, que pode ser fixado sobre o cavalete com o propósito de absorver parte das vibrações antes que elas possam ser transmitidas para a caixa de ressonância do instrumento.” (tradução nossa)

⁶⁸ “pelo menos um par de compassos em tempo moderato.” (tradução nossa)

parte estabelecendo uma classificação entre os diferentes tipos baseada unicamente na finalidade do uso: estudo ou performance. Os comentários feitos em relação às características observadas não apresentam nenhuma fundamentação, nenhuma descrição de metodologia utilizada, sugerindo tratar-se, antes, de impressões subjetivas dos produtores dos vídeos. Afirmações do tipo “essa surdina ‘diminui o som’ em 70%” são apresentadas desacompanhadas de qualquer critério de mensuração objetivo, em alguns casos atribuindo a informação, sem maiores detalhes, ao fabricante do produto. Da mesma forma, tentativas de descrição do efeito dos dispositivos no timbre dos instrumentos esbarram igualmente em adjetivos de interpretação subjetiva, como “som mais escuro”, “som metálico”, “sonoridade nasalada”, tornando impossível o estabelecimento de comparações mais objetivas, já que esses termos podem ser compreendidos de maneiras muito variadas, mesmo por musicistas.

2.2 A pesquisa científica sobre surdinas de violino

O levantamento bibliográfico a respeito da pesquisa científica sobre surdinas encontrou pouco material publicado. Há certo número de citações à utilização das surdinas como suporte a pesquisas acerca de outros assuntos, notadamente do cavalete do violino, ou que apresentam apenas uma menção ou descrição sumária do dispositivo (GILTAY, HAAS, 1909; EDWARDS, 1911; TYNDALL; WHITE, 1916; RAMAN, 1916, 1917, 1918, 1920; JANSSON; SUNDBERG, 1975; CREMER, 1984; GOUGH, 2000, 2016; WOODHOUSE, 2005, 2014; BISSINGER, 2006; MEYER, 2009; FLETCHER; ROSSING, 2012; HARTMANN, 2013; HELLER, 2013; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; LIANG et al., 2015; LOUGHRIDGE, 2021).

Já em relação a pesquisas que tenham as surdinas como o objeto de estudo em si, pouca coisa foi localizada: em sua conhecida obra *Psychology of music*, Carl E. Seashore cita o trabalho *Structure and function of the violin mute*, atribuído a R. Horne (SEASHORE, 1938a, p. 215), no que seria um estudo amplo, que estaria sendo conduzido na Universidade de Iowa em 1938, tendo como objeto os efeitos e funcionamento das surdinas especificamente. Porém, esse trabalho não foi localizado e nem encontrada nenhuma outra referência ao mesmo⁶⁹, exceto por um segundo informe, também de Seashore, publicado também em 1938, no *Music Educators Journal* (SEASHORE, 1938b), onde se relataria parte do estudo anteriormente

⁶⁹ Seja em buscas na internet, inclusive no próprio repositório de teses e dissertações da Universidade de Iowa, seja por meio de citações do mesmo em outras pesquisas, as únicas referências encontradas foram as citações de Seashore.

referido⁷⁰. Além dessa referência, foram localizadas mais seis publicações que tem, como objeto de estudo específico, as surdinas de violino (KISHI,1998; AHRENS, 2007; TAJIMI ET AL., 2011; MOUSAVION; SARKAR, 2015; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH 2017).

2.2.1 Menções e utilização em trabalhos com outros objetos de estudo

Na primeira citação em trabalhos científicos modernos localizada, no artigo *On the motion of the bridge of the violin* (GILTAY, HAAS, 1909), os autores desenvolvem uma investigação experimental a respeito do funcionamento do cavalete do violino, visando entender de que maneira a vibração das cordas é transmitida ao tampo do instrumento por meio do mesmo. No processo são utilizados grampos de metal adicionados a diferentes partes do cavalete para comparar-se o efeito dos mesmos na sonoridade original do instrumento e, também, surdinas típicas de violino (de ébano e de metal). Embora o trabalho não empregue nenhum meio de coleta e mensuração de dados objetivos acerca dos efeitos dos experimentos desenvolvidos, baseando suas conclusões unicamente na observação dos participantes da análise, é relevante que se tenha chegado à conclusão que o cavalete atua com diferentes modos de vibração, e que a alteração do timbre e a alteração de intensidade seriam fruto de intervenções diferentes na peça. Cita uma definição de surdina de Edwin Henry Barton (1858-1925), publicada originalmente em 1908 na obra *A textbook on sound* (BARTON, 1908): “*The mute is a small apparatus of wood or metal which fits on the bridge, and thus deadens the sound considerably*⁷¹” (GILTAY, HAAS, 1909, p. 524). É relacionada a ação dos grampos, empregados no estudo em diferentes posições, às surdinas, quando utilizado numa posição específica: “*When the clamp is placed at ‘c’ a strongly damped sound is obtained: this is the well known mute-effect, but even stronger in our case than with the ordinary mute which weighs only about 4 grammes as against ours which weighs over 7 grammes. At ‘a’ the effect is as we saw, extremely small*⁷²” (GILTAY, HAAS, 1909, p. 515), onde ‘c’ é a posição central no topo do cavalete e ‘a’ é a parte superior do pé do cavalete do lado da corda Sol. Os autores concluem que o cavalete atuaria com movimentos paralelos e transversais e que o timbre seria muito

⁷⁰ É observada, porém, uma divergência no nome do autor nas duas citações: na primeira consta R. Horne (SEASHORE, 1938a) e, na segunda, E. Porter Horne (SEASHORE, 1938b). Devido, porém, à coincidência da natureza da pesquisa, instituição de realização da mesma (University of Iowa) e data, acredita-se que se trate do mesmo autor e pesquisa.

⁷¹ “A surdina é um pequeno dispositivo de madeira ou metal que se encaixa no cavalete e, assim, amortece consideravelmente o som.” (tradução nossa)

⁷² “Quando o grampo é colocado em 'c', obtém-se um som fortemente abafado: este é o conhecido efeito surdina, mas, ainda mais forte no nosso caso do que com a surdina comum que pesa apenas cerca de 4 gramas, enquanto o nosso (grampo) pesa mais de 7 gramas. Em 'a' o efeito é como vimos, bastante reduzido.” (tradução nossa)

modificado quando somente um dos movimentos é alterado, já que a adição de massa de forma equilibrada ao cavalete atuaria na perda de intensidade, mas, tenderia a preservar a sonoridade original do instrumento, enquanto o acréscimo em pontos específicos alteraria muito o timbre, relacionando isso à perturbação no comportamento vibracional do cavalete em seus diferentes planos isoladamente. Em suas conclusões finais, é bastante relevante que observem que a alteração provocada pelas surdinas estaria relacionada a esse segundo caso, pois, a natureza desse efeito é, para além da redução de intensidade, de alteração do timbre:

The action of the mute is commonly described by calling it ‘damping’ or ‘deadening’. But if the mute caused nothing but a general damping or reducing of the bridge motion, the mute would only weaken the sound, and the same effect would be obtained by bowing softly on a violin without as by bowing hard on a violin with a mute. That however is by no means the case as everyone knows⁷³. (GILTAY, HAAS, 1909, p. 524)

No artigo *A method for the quantitative analysis of musical tone*, de Preston Hampton Edwards, de 1911, o autor empreende uma investigação acerca de métodos possíveis para a análise objetiva da sonoridade, do timbre de um instrumento musical, por meio de análise espectral, tomando o violino como principal exemplo para o estudo descrito na publicação. Baseado nos trabalhos de Helmholtz e Koenig, ele descreve um complexo método de análise espectral mecânica do som, baseado em ressonadores de Helmholtz acoplados a meios de registro gráficos. Foi montado um conjunto de tais ressonadores afinados para responderem a duas séries harmônicas, do Sol², indo do primeiro ao sexto harmônico, com mais o acréscimo do oitavo e do décimo segundo harmônicos dessa nota, e do Dó³, incluindo os oito primeiros harmônicos dessa frequência. São conduzidas então três coletas de dados que incluem (a) o uso de uma surdina de metal (peso não especificado), (b) tocar de maneira suave e forte em dois violinos, sendo um de grande qualidade e o outro de sonoridade limitada⁷⁴ e (c) tocar, da mesma forma, em um mesmo violino sem verniz nenhum e depois da aplicação do mesmo. São apresentados ainda para efeito comparativo, resultados provenientes da análise do som de alguns outros instrumentos e do registro de diferentes vogais.

⁷³ “A ação da surdina é comumente descrita como de ‘amortecimento’ ou ‘enfraquecimento’. Mas, se a surdina não causasse nada além de um amortecimento geral ou redução do movimento do cavalete, a surdina só enfraqueceria o som, e o mesmo efeito seria obtido tocando-se suavemente um violino sem surdina ou tocando fortemente um violino com surdina, esse, no entanto, não é de forma alguma o caso, como todos sabem.” (tradução nossa)

⁷⁴ “(...) a somewhat “scratchy” violin of not very (powerful) tone, age and make unknown” (EDWARDS, 1911, p. 34). “(...) um violino um tanto “arranhado” de sonoridade não muito forte, idade e marca desconhecidas.” (tradução nossa)

Apesar das limitações dos meios tecnológicos disponíveis na época da realização do estudo, o trabalho insere-se diretamente no desenvolvimento da análise de dados objetivos extraídos do som, permitindo uma representação espectral básica. Na metodologia descrita, há pouca informação acerca da performance dos executantes (golpe de arco utilizado ou algum tipo de padronização da execução, por exemplo) se limitando a informações muito sucintas: “*The performer stood behind the observer and produced a given tone half a dozen or a dozen times while the latter noted the deflections of the images*⁷⁵” (EDWARDS, 1911, p. 32) ou “*Record (i) (...) bowed by a good violinist to bring out its best effect; (i') is from the same violin bowed with great force by another performer, to bring out its full power*⁷⁶” (EDWARDS, 1911, p. 34), observando em outro ponto que houve grande variabilidade das leituras obtidas pela repetição das notas selecionadas, sendo necessário fazer-se uma média dos registros, em acordo com a problemática típica do estudo de performance musical. Mesmo com essas questões a análise desenvolvida chega a dados objetivos consistentes, que estão, no geral, em concordância com trabalhos posteriormente desenvolvidos:

The readings (...) bring out at once two remarkable and important facts, (1) that the lower tones of the violin are extremely weak in fundamental, a very large proportion of the energy being contained in the overtones, and (2) that the effect of muting these tones is to increase, not only relatively but absolutely, the strength of the fundamental, while damping the upper partials. Muting the higher tones diminishes all of the partials together⁷⁷. (EDWARDS, 1911, p. 33)

A distribuição energética descrita para as notas mais baixas do violino no tópico (1), com a fundamental mais fraca do que as parciais seguintes, pode ser considerada característica do instrumento (SAUNDERS, 1937; SMALL apud SEASHORE, 1938a; MASSMANN; FERRER, 1997; MEYER, 2009; ROSSING; MORRISON, 2010; DA SILVA EVANGELISTA, 2019), tendo sido verificada, inclusive nos espectros registrados na pesquisa de mestrado anterior ao presente trabalho⁷⁸. Da mesma forma, foi constatado, nas análises realizadas no mesmo mestrado, com o uso de duas surdinas de performance, o mesmo efeito

⁷⁵ “O executante ficou atrás do observador e tocou uma determinada nota meia dúzia ou uma dúzia de vezes enquanto esse último anotava os desvios das imagens.” (tradução nossa)

⁷⁶ “Registrado (i) (...) tocado por um bom violinista para obter o seu melhor efeito; (i') é do mesmo violino tocado com grande força por outro intérprete, para soar com sua maior intensidade.” (tradução nossa)

⁷⁷ “As leituras (...) trazem à tona dois fatos notáveis e importantes, (1) que as notas graves do violino são extremamente fracas na fundamental, com uma proporção muito grande da energia contida nos harmônicos, e (2) que o efeito da surdina nessas notas é aumentar, não apenas relativamente, mas absolutamente, a força da fundamental, enquanto atenua as parciais superiores. O uso das surdinas nas notas mais altas diminui todos os parciais juntos.” (tradução nossa)

⁷⁸ Vide gráficos 5.22, 5.25, 5.30, 5.34 e 5.35 da dissertação *Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico* (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, p. 137 a 142).

descrito no tópico (2) da conclusão de Edwards: nas notas graves, há transferência de energia para a fundamental, que passa a ser a parcial mais forte, e perda de energia dos demais harmônicos, e, nas notas mais agudas, uma perda de energia mais uniforme, alterando menos a proporção da distribuição energética original dos harmônicos⁷⁹.

Nesse contexto, onde se desenvolviam pesquisas experimentais ainda incipientes acerca do funcionamento físico do violino, destaca-se o trabalho de Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970), físico indiano, ganhador do Nobel de Física em 1930 por sua pesquisa sobre o espalhamento da luz e a descoberta do Efeito Raman. Ele também produziu extensos estudos acerca dos instrumentos de corda friccionada. Foram localizados uma série de relatos de pesquisas de sua autoria nos quais são citadas surdinas (RAMAN, 1916; RAMAN, 1917; RAMAN, 1918), relacionadas, sempre, a suas investigações a respeito da *wolf tone*⁸⁰. No artigo *On the "Wolf-note" in Bowed Stringed Instruments* é relatado que a adição de uma surdina ao cavalete de um violoncelo abaixava a frequência da nota na qual ocorria a *wolf tone*:

This is readily shown by putting a mute on the bridge. The pitch of the wolf-note then falls immediately by a considerable interval. On the particular 'cello I use, a load of 17 grammes fixed at the highest point of the bridge lowers the wolf-note pitch from 176 to 160 vibrations per second. A larger load of 40.4 grammes depresses it further to 137 vibrations per second, and also causes two new but comparatively feeble resonance-points to appear at 100 and 184 respectively, without any attendant cyclical phenomena. An ordinary brass mute has a very similar effect⁸¹. (RAMAN, 1916, p. 394)

A partir dessas observações o autor considera o funcionamento das surdinas, inclusive mencionando as medições de Edwards comentadas acima (EDWARDS, 1911), apresentando uma explicação para o seu efeito:

The positions of the frequencies of maximum resonance of the bridge and associated parts of the belly for notes over the whole range of the scale are undoubtedly of the highest importance in determining the character of violin-tone and the explanation of the effect of a mute on the tone of the instrument is chiefly to be sought for in the

⁷⁹ Vide gráficos 5.26, 5.27, 5.28, 5.30, 5.31 e 5.32 da dissertação *Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico* (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, p. 139 a 141).

⁸⁰ Trata-se de uma falha acústica típica de instrumentos de arco, mais comum em violoncelos, que provoca oscilações em determinada nota quando as impedâncias do cavalete e das cordas atingem uma correspondência muito próxima, pois, nessa situação, tanta energia deixa a corda que se torna quase impossível manter de forma consistente, com a ação do arco, a oscilação de Helmholtz (ROSSING; MORRISON, 2010).

⁸¹ “Isso é prontamente mostrado colocando-se uma surdina no cavalete. A altura da nota do lobo então cai imediatamente um intervalo considerável. No violoncelo em particular que uso, uma carga de 17 gramas fixada no ponto mais alto do cavalete reduz a altura da nota do lobo de 176 para 160 vibrações por segundo. Uma carga maior de 40,4 gramas abaixa ainda mais para 137 vibrações por segundo e também faz com que dois novos, mas comparativamente mais fracos, pontos de ressonância apareçam em 100 e 184, respectivamente, sem nenhum fenômeno cíclico concomitante. Uma surdina de metal comum tem um efeito muito semelhante.” (tradução nossa)

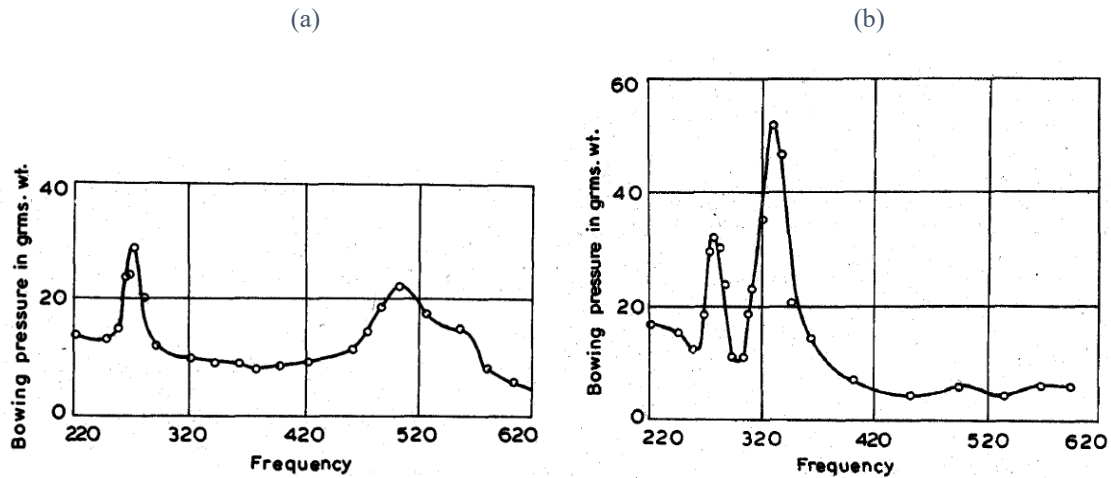
effect of the loads applied on the frequencies of the principal free modes of vibration of the bridge and associated parts of the belly⁸². (RAMAN, 1916, p. 394)

Em diálogo com os autores de pesquisa relatada em nota da revista *Nature*, *On the 'Wolf-note' of the Violin and 'Cello* (TYNDALL; WHITE, 1916), ainda sobre o fenômeno da *wolf tone* em violoncelos e violinos, são consideradas as diferentes abordagens possíveis para a compreensão do complexo funcionamento do cavalete, e Raman apresenta um modelo matemático para embasar sua compreensão do mecanismo de ação das surdinas baseado no impacto da massa das mesmas nos modos de vibração do corpo do violino, influenciados a partir da ação do dispositivo no cavalete (RAMAN, 1917; RAMAN, 1918). O próprio autor, porém, considera que mais estudos seriam necessários para uma melhor compreensão do assunto, citando, inclusive as consideráveis variações observadas no efeito do acréscimo de massa ao cavalete dependendo do ponto na peça no qual a mesma era acrescentada.

Em outro trabalho, *Experiments with mechanically-played violins* (RAMAN, 1920), no qual o autor descreve um sistema mecânico para operar um arco de violino como recurso para uma melhor padronização e controle da execução instrumental, visando suas pesquisas acerca da acústica dos instrumentos de arco, uma das análises que empreende é a aferição da pressão mínima aplicada ao arco necessária para o estabelecimento do movimento de Helmholtz estável, em relação à frequência tocada (nesse artigo especificamente várias notas selecionadas na corda Sol), e depois repete a mesma medição com a utilização de uma surdina. A grande variação observada nesse estudo (Fig. 2.9a e 2.9b) é bastante ilustrativa da forte influência que alterações na concepção original do cavalete provocam em toda a mecânica de funcionamento do instrumento. No caso, foi utilizada uma surdina de metal de 12,4 gramas (o que, para um violino, pode ser considerado, atualmente, o peso de um abafador), sem maiores detalhes sobre o dispositivo.

⁸² “As posições das frequências de ressonância máxima do cavalete e partes associadas do tampo para notas em toda a extensão da escala são, sem dúvida, da maior importância na determinação do caráter do timbre do violino e na explicação do efeito de uma surdina na sonoridade do instrumento que deve ser procurada principalmente no efeito da carga aplicada nas frequências dos principais modos livres de vibração do cavalete e das partes associadas do tampo.” (tradução nossa)

Figura 2.9 – (a) Relação entre a pressão mínima do arco e a altura (sem surdina) e (b) relação entre a pressão mínima do arco e a altura com surdina.



(fonte: RAMAL, 1920 p. 417 e 419)

No trecho abaixo transcrito Raman tece uma série de considerações baseadas nesses resultados ao comentar a curva sob o efeito da surdina, apresentada na Fig. 2.9b (à qual ele se refere como *figure 4*), comparando-a com a leitura anterior sem surdina, mostrada na Fig. 2.9a (à qual se refere como *figure 3*):

Perhaps the best illustration of the close relation existing between the forces required to be exerted by the bow and the communication of vibrations from the string to the bridge and belly of the instrument and thence to the air, is furnished by the effect of putting a mute on the bridge on the bowing pressure required for eliciting a musical tone.

(...) It will be noticed that there is a peak in the curve at a frequency of about 280. This is the pitch of the first resonance of the instrument, the fundamental component of the vibration being reinforced, and in this case, the position of the peak in the curve for the bowing pressure is not appreciably influenced by the resonance of the octave as in figure 3. It is clear that the pitch of the first resonance of the instrument is hardly influenced at all by the application of a load of 12.4 grammes to the bridge, and the bowing pressure required at the first peak of the curve is nearly the same as in figure 3. The first natural mode of vibration of the violin does not therefore appear to involve any very large vibration of the bridge. Following the peak at 280, we have in figure 4 a very high peak near 330 which is the pitch of the 'wolf-note' as lowered by the mute of 12.4 grammes. The great lowering of pitch (from 490 to 330) shows that the second mode of vibration of the body of the violin involves a very large vibration of the bridge, and the enormous increase of bowing pressure at the peak of the curve is also noteworthy. This can no doubt be explained on dynamical principles as due to the very greatly increased amplitude of the forced vibration of the bridge due to the loading. At higher pitches, the bowing pressure necessary falls off very rapidly, though one or two minor maxima (due to the resonance of the instrument in its higher modes as altered by the loading) are also obtained. The tone of the instrument in the

higher ranges of pitch when muted is extremely feeble⁸³. (RAMAN, 1920, p. 419 e 420)

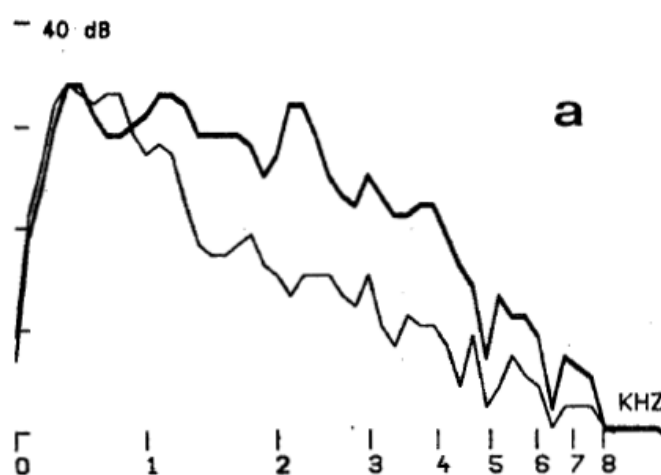
A compreensão da importância do acoplamento acústico entre o cavalete e o tampo do instrumento para o entendimento dos fenômenos físicos relacionados à acústica do violino, revelada na análise do autor, sugere porque as surdinas chamaram sua atenção como um recurso disponível para a investigação do cavalete, que permite alterar, de maneira simples, o equilíbrio e a massa do sistema representado pelas cordas/cavalete/tampo, exemplificado pela já citada atuação direta sobre um de seus objetos de estudo específico, a *wolf tone*. Por outro lado, o fato da investigação, em princípio, não focar na surdina em si, tratando-a apenas como um acréscimo de massa (no máximo observando sua posição de acoplamento com o cavalete) não levou em conta o impacto dos outros aspectos físicos desse acoplamento: a extensão da área de contato da surdina com o cavalete, a pressão exercida por esse encaixe onde ela toca a peça (relacionada à rigidez do material de fabricação da surdina), e, ainda, a possibilidade desse sobrepeso possuir, ele mesmo, modos de vibração próprios (relacionados ao material de construção e, também, ao formato da mesma) que entrem em ação a partir de seu acoplamento ao sistema. Considerando que o autor relaciona o efeito da surdina diretamente à perturbação provocada pela mesma, por meio da alteração do cavalete, nos modos de vibração específicos do corpo do instrumento (na análise acima, sobretudo no segundo, por volta dos 400 Hz), fica claro que a investigação a respeito do impacto desses outros aspectos físicos elencados acima seria imprescindível para uma caracterização mais abrangente da ação das surdinas.

Após essas primeiras aproximações, ainda que indiretas, de análise científica dos efeitos das surdinas no começo do séc. XX, há um longo lapso temporal até as próximas publicações localizadas citarem o uso dos dispositivos como recurso metodológico na

⁸³ “Talvez a melhor ilustração da estreita relação existente entre as forças necessárias, que são exercidas pelo arco, e a transmissão das vibrações da corda para o cavalete e o tampo do instrumento e daí para o ar, seja fornecida pelo efeito de colocar uma surdina no cavalete sobre a pressão de arco necessária para se obter uma nota musical. (...) Observa-se que há um pico na curva com frequência de cerca de 280(Hz). Essa é a altura da primeira ressonância do instrumento, sendo o componente fundamental de vibração reforçado e, neste caso, esse pico, em relação à pressão do arco, não é apreciavelmente influenciado pela ressonância da oitava como na figura 3. É claro que a altura da primeira ressonância do instrumento é pouco influenciada pela aplicação do peso de 12,4 gramas ao cavalete, e a pressão do arco necessária no primeiro pico da curva é quase a mesma que na figura 3. O primeiro modo natural de vibração do violino não parece envolver qualquer vibração importante do cavalete. Seguindo o pico em 280(Hz), temos na figura 4 um pico muito alto próximo de 330(Hz) que é a altura da '*wolf note*' abaixada pela surdina de 12,4 gramas. O grande rebaixamento da altura (de 490 a 330(Hz)) mostra que o segundo modo de vibração do corpo do violino envolve uma vibração muito grande do cavalete, e o enorme aumento da pressão do arco no pico da curva também é digna de nota. Isso sem dúvida pode ser explicado em princípios dinâmicos como devido à amplitude muito aumentada da vibração forçada do cavalete devido ao sobrepeso. Em notas mais altas, a pressão do arco necessária cai muito rapidamente, embora um ou dois aumentos menores (devido à ressonância do instrumento em seus modos superiores alterados pelo sobrepeso) também sejam obtidos. A sonoridade do instrumento nas faixas mais altas da afinação sob efeito da surdina é extremamente fraca.” (tradução nossa)

abordagem de outros assuntos. O artigo *Long time average spectra applied to analysis of music*, de Jansson e Sundberg, realizado já em 1972 (JANSSON; SUNDBERG, 1975), em continuidade à prática, apresenta uma discussão a respeito da utilização de LTAS⁸⁴ para a análise de sons musicais, valendo-se, também, do uso de surdinas para demonstrar as possibilidades do recurso. Os autores descrevem o sistema analógico que utilizam para obter as LTAS como uma configuração padrão que fornecia um bom resultado para a análise geral da voz humana, sendo composto por um conjunto de 51 filtros montados em paralelo, com largura de banda constante de 250 Hz. São apresentados então, além de alguns gráficos para validação do sistema, uma série de análises empreendidas a partir de gravações do som do violino, considerando a análise de dois pontos básicos: em quais condições uma leitura de LTAS é reproduzível e quão sensível essa leitura é para diferenciar características específicas do som analisado.

Figura 2.10 – LTAS de gravações de uma mesma escala sem (linha mais forte) e com surdina (linha mais clara).



(fonte: JANSSON; SUNDBERG, 1975, p. 43.)

Assim, são comparadas as LTAS de gravações de (a) uma mesma escala tocada sem e com surdina (Fig. 2.10), (b) uma escala cromática e um arpejo de três notas (*triad figure*), ambas em uma mesma oitava, (c) duas escalas cromáticas em oitavas diferentes (Sol₂-Sol₃ e A₃-A₄), (d) dois *takes* de um mesmo trecho musical tocado em um mesmo violino da mesma forma (*détaché* e *fortíssimo*), (e) uma gravação tocada como em (d) e outra tocada ligando de quatro em quatro notas, com dinâmica variando do *mezzoforte* ao *piano* e (f) o mesmo trecho musical

⁸⁴ Para maiores informações sobre LTAS vide seção 3.5.2.

tocado em (d) da mesma forma, porém, em dois violinos diferentes. A partir dos resultados apresentados os autores avaliam a efetividade da ferramenta diante das questões levantadas.

Embora haja pouca informação acerca da metodologia, tanto de execução musical quanto de captação, os autores abordaram a maior parte da problemática relacionada à análise acústica de performance musical, considerando a eventual vantagem do uso da LTAS diante dessas questões:

Let us now consider varied signals produced by one type of instrument, the violin, in normal playing. As a rule the properties of a violin are not changed by the player only the way in which they are used. Therefore spectra of played tones normally reflect properties of the instrument. The study of spectra of single notes is a very tedious work. Such spectra are difficult to interpret, as the playing can hardly ever be controlled well enough to secure a reasonable degree of reproducibility. A higher degree of reproducibility would be offered by averages over several tones as provided by an LTAS⁸⁵. (JANSSON; SUNDBERG, 1975, p. 43)

O artigo, no geral, consegue mostrar bem as possibilidades do uso da LTAS na análise de sons musicais, tema de particular interesse para o presente trabalho que utiliza o mesmo recurso em suas análises⁸⁶. Em relação ao uso da surdina especificamente (da qual não é fornecido nenhum detalhe, nem sequer o peso) o gráfico apresentado (Fig. 2.10), diferencia claramente as duas condições de estudo (sem e com surdina), apresentando um perfil de variação similar aos desenvolvidos na pesquisa de mestrado (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, p. 148) anterior ao presente trabalho, com o emprego, também, de LTAS. Observam ainda a respeito dessa análise com o uso de surdina, em concordância com outros estudos:

With the mute, the energy radiated is concentrated to lower frequencies on each tone. Note also the additional intensity peak just below 1 kHz introduced by the mute. This peak shows that a partial of a played tone may indeed be stronger with a mute than without⁸⁷. (JANSSON; SUNDBERG, 1975, p. 43)

Em relação a outros aspectos discutidos, como variações na repetição de uma mesma amostragem em condições iguais e diferenças nos registros de uma mesma amostra tocada em

⁸⁵ “Consideremos agora sinais variados produzidos por um tipo de instrumento, o violino, em execução normal. Via de regra, as propriedades de um violino não são alteradas pelo instrumentista, apenas a maneira como ele é usado. Portanto os espectros das notas tocadas normalmente refletem as propriedades do instrumento. O estudo de espectros de notas individuais é um trabalho muito tedioso. Tais espectros são difíceis de interpretar, pois a técnica de execução dificilmente pode ser controlada bem o suficiente para garantir um grau razoável de reprodutibilidade. Um mais alto grau de reprodutibilidade seria oferecido por médias de várias notas conforme são fornecidas por uma LTAS.” (tradução nossa)

⁸⁶ Importante observar que a implementação da LTAS na presente pesquisa é totalmente digital, o que possibilita um maior controle, flexibilidade e precisão do que os meios analógicos dos quais os autores do artigo dispunham. A implementação utilizada trabalha com uma largura de banda de 11,72 Hz, por exemplo, em comparação à desse estudo de 250 Hz (vide seção 3.5.2).

⁸⁷ “Com a surdina, a energia irradiada é concentrada nas frequências mais baixas de cada nota. Observa-se também um pico de intensidade adicional logo abaixo de 1 kHz produzido pela surdina. Este pico mostra que uma parcial de uma nota tocada pode realmente ser mais forte com uma surdina do que sem.” (tradução nossa)

violinos diferentes, os mesmos também são observados com o emprego de LTAS na presente pesquisa, devendo, sempre, serem considerados nos modelos metodológicos e de análise que utilizem essa ferramenta para a correta interpretação dos dados registrados.

Em seu livro *The physics of the violin*, de 1984, Lothar Cremer, no capítulo dedicado ao cavalete do instrumento, tece algumas considerações a respeito do efeito produzido pelo uso da surdina⁸⁸. Observa que o cavalete responde à corda como um meio bastante rígido, com um fator de transmissão de força constante em frequências abaixo de 2.000 Hz. Em relação ao corpo do instrumento, nessas frequências, o cavalete se comporta como uma placa rígida livre, cuja inércia não tem ação de carga considerável, e que, portanto, pequenas alterações na forma do cavalete não têm efeito nessa faixa de frequências. Porém, acrescenta:

There is only one exception to this rule: placing the mute on the bridge to play *con sordino*. Here the effect is considerable, but so is the alteration to the bridge. It can be seen immediately that the partial mass m_0 is substantially increased, and that all of the natural frequencies in which it plays a part must be lowered⁸⁹. (CREMER, 1984, p. 241)

Cremer faz referência, na sequência de suas observações, a trabalhos de W. Reinicke que utilizaram surdinas em mensurações acerca da resposta acústica do cavalete. Relata que, em um estudo de 1973, a adição de uma massa extra de apenas 1,5 gramas no topo do cavalete abaixou a resposta de frequência natural inferior de 3.000 para 1.700 Hz (REINICKE, 1972 apud CREMER, 1984), observando ainda que uma surdina (sem nenhuma especificação) tinha em média quatro gramas de peso, o que abaixaria essa frequência de resposta ainda mais. Faz ainda um comentário bastante significativo para a compreensão da percepção dos efeitos das surdinas: “*The effect of the mute is not only in the reinforcement of the frequency range of the resonance, but perhaps subjectively even more in the weakening of the frequency range above the resonance*⁹⁰” (CREMER, 1984, p. 241).

Cremer apresenta ainda os resultados de um outro estudo (REINICKE, 1965 apud CREMER, 1984) no qual o mesmo autor utiliza sensores piezoelétricos⁹¹, instalados no entalhe

⁸⁸ Seção 9.7, *The effect of the mute* (CREMER, 1984, p. 240).

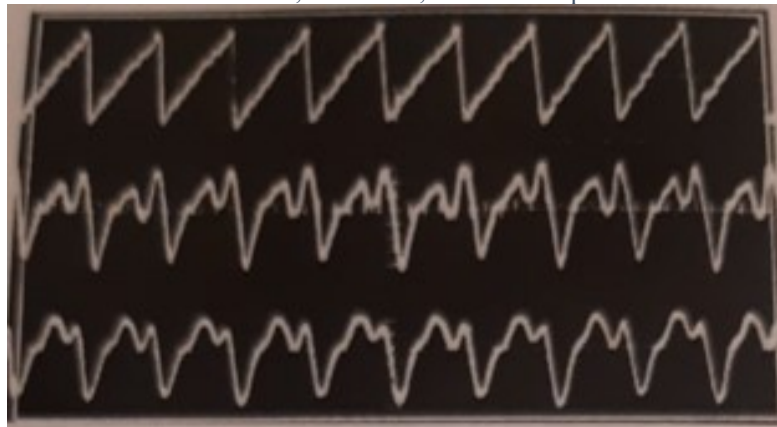
⁸⁹ “Só há uma exceção a essa regra: colocar a surdina no cavalete para tocar *con sordino*. Aqui o efeito é considerável, mas, também, a alteração do cavalete. Pode-se ver imediatamente que a massa parcial m_0 é substancialmente aumentada e que todas as frequências naturais nas quais ela desempenha algum papel serão abaixadas.” (tradução nossa)

⁹⁰ “O efeito da surdina não está apenas no reforço da faixa de frequência da ressonância, mas talvez subjetivamente ainda mais no enfraquecimento da faixa de frequência acima da ressonância.” (tradução nossa)

⁹¹ Transdutores baseados no efeito observado em alguns cristais que, quando sujeitos a deformações mecânicas, produzem uma diferença de potencial entre pares de faces opostas.

de apoio das cordas no cavalete e nos dois pés do mesmo, para registrar a função de força exercida sobre a peça ao longo do tempo, sob o efeito de uma surdina.

Figura 2.11 – Funções de força registradas com sensores piezoelétricos em três posições no cavalete, com uma surdina acoplada ao mesmo: no topo, sensor no entalhe de apoio da corda; no centro, sensor sob o pé do lado da barra harmônica; e embaixo, sensor sob o pé do lado da alma.



(fonte: REINICKE, 1965 apud CREMER, 1984, p. 242)

Percebe-se uma grande alteração nas curvas das funções de força dos sensores colocados sob os pés do cavalete, que não mantêm o característico formato “dente de serra” (representado pela leitura do sensor colocado diretamente sob a corda), indicando não mais que três ou quatro harmônicos, no lugar de aproximadamente dez, que seria o esperado na condição sem surdina. Esse comportamento indicaria que as forças inerciais resultantes do movimento vertical do cavalete são relativamente pequenas em comparação com a função de força sob os pés, nessa faixa de frequências mais baixas (REINICKE, 1965 apud CREMER).

No artigo *Science and the Stradivarius* (GOUGH, 2000), o pesquisador Colin Gough chama a atenção para a importância do cavalete na definição da sonoridade do violino, exemplificando o quanto a peça é sensível a alterações, justamente, com o uso de uma surdina:

Violinists often place an additional mass (the "mute") on the top of the bridge, effectively lowering the frequency of the bridge resonances. This results in a much quieter and "warmer" sound that players often use as a special effect. It is therefore surprising that so few players - or even violin makers - recognize the major importance of the bridge in determining the overall tone quality of an instrument⁹². (GOUGH, 2000, p. 60)

⁹² “Os violinistas geralmente colocam uma massa adicional (a "surdina") no topo do cavalete, abaixando efetivamente a frequência das ressonâncias do cavalete. Isso resulta em um som muito mais suave e "quente" que os músicos costumam usar como efeito especial. Portanto, é surpreendente que tão poucos músicos – ou mesmo fabricantes de violinos – reconheçam a grande importância do cavalete na determinação da qualidade geral do timbre de um instrumento.” (tradução nossa)

Em outro artigo, *Violin acoustics* (GOUGH, 2016), observa ainda que há perda de intensidade mesmo nas notas mais graves, apesar da frequência de ressonância ser abaixada pela adição da surdina, porque nessas notas há, também, importantes contribuições das parciais harmônicas mais altas, que são diretamente afetadas pelo acréscimo de massa no cavalete.

Jim Woodhouse, em dois artigos, também cita as surdinas quando discorre acerca das propriedades e do funcionamento do cavalete do instrumento. No artigo *On the “bridge hill” of the Violin* (WOODHOUSE, 2005) observa, corroborando estudos anteriores de outros autores, que o acréscimo de massa no topo do cavalete desloca o pico de frequências inferiores para baixo, relacionando diretamente o aumento da massa ao alcance dessa variação, mensurando sempre a admitância do cavalete. Equipara o acréscimo de uma surdina a alterações diretas no próprio cavalete, variando, por exemplo, a espessura do topo do mesmo. Em outro texto, *The acoustics of the violin: a review* (WOODHOUSE, 2014), descreve a surdina e sua ação sucintamente:

(...) all violinists make regular use of a “mute” to modify the sound, at the behest of composers. A mute is simply an additional mass that is temporarily attached to the top of the bridge, and its main action is to shift the bridge hill downwards, and thus to reduce the amount of high frequency sound since above the hill the response falls rapidly⁹³. (WOODHOUSE, 2014, p. 34)

Como em outros trabalhos já comentados, pela própria natureza da explicação física da ação dos dispositivos (alteração do comportamento vibracional original do cavalete), uma descrição mais efetiva da ação dos mesmos necessitaria considerar as demais propriedades físicas das surdinas, que influenciam no acoplamento de sua massa ao sistema do cavalete.

No artigo *The violin bridge as filter* (BISSINGER, 2006), George Bissinger, investigando o funcionamento do cavalete, menciona a ação da surdina, também comparando os efeitos da mesma com outras alterações da peça: “*If lower mass bridge tops lead to higher radiativity, then conversely adding mass to the violin bridge top – as in a violin mute – should lead to lower radiativity, which is consistent with experience*⁹⁴”.

⁹³ “(...) todos os violinistas fazem uso regular da “surdina” para modificar o som, instruídos pelos compositores. Uma surdina é simplesmente uma massa adicional que é temporariamente acrescentada ao topo do cavalete, e sua principal ação é deslocar o *bridge hill* para baixo e, assim, reduzir a intensidade das frequências altas, pois acima desse pico a resposta cai rapidamente.” (tradução nossa)

⁹⁴ “Se topos de cavalete de menor massa levam a uma maior irradiação, então, inversamente, massa adicional no topo do cavalete do violino - como uma surdina de violino - deve levar a uma menor irradiação, o que é consistente com a experiência.” (tradução nossa)

Em sua obra *Acoustics and the Performance of Music* (MEYER, 2009), na subseção relativa às *Técnicas especiais de performance* dos instrumentos de arco⁹⁵, o autor faz uma série de observações de caráter geral acerca dos efeitos das surdinas nos instrumentos de arco, sem, porém, fornecer referências específicas à metodologia utilizada para se chegar aos dados apresentados. Observa que a adição da surdina amortece, principalmente, as contribuições das frequências altas, mas, que há outros efeitos adicionais que dependem da natureza e do peso da surdina. Afirma, também, que, devido ao peso da surdina, a ressonância do corpo do instrumento, normalmente localizada em torno de 400 Hz, é deslocada para frequências mais baixas, se aproximando assim da ressonância do ar da caixa acústica⁹⁶. Isso levaria a um aumento de intensidade da fundamental das notas mais baixas da corda Ré. Considera ainda, um fator determinante nos efeitos da surdina, as características físicas do cavalete (rigidez e massa do mesmo), o que contribuiria para explicar a variação dos efeitos das surdinas de instrumento para instrumento. Observa ainda que mudanças de ressonância também podem ocorrer na região de frequências mais altas, sem, no entanto, gerar intensidades maiores na sonoridade do que quando o instrumento é tocado sem surdina. Percebe-se a atenção do autor à influência que as diferenças físicas das surdinas acarretam em seus efeitos, relacionando-os ao funcionamento acústico do instrumento e às mudanças na distribuição da energia espectral, ligando-as diretamente à percepção das mudanças de timbre, apontando ser possível uma grande variedade de efeitos distintos com o uso de surdinas diferentes:

The amount of pitch-damping is important in its effect on tone color. Most mutes dampen components down to those frequencies which lie above nasal contributions. As a result, the nasal tone is created which frequently is considered typical for violins with mutes. Particularly light mutes naturally cause the least change, creating a somewhat lighter and barely nasal tone. They are especially suited for low passages, for which the resonance shifts, mentioned earlier, toward the lower notes of the D string caused by heavy mutes would be disturbing. On the other hand this type results in a very soft and covered sound for the A and E strings, since they also reduce the nasal contributions. However, this does require a weight of about 6 g which is available in a five prongs steel mute, for example. Through the choice of suitable mutes, a number of different tonal variations can be achieved. For most mutes a reduction of radiated sound power of the order of 6 dB results. For very heavy mutes this can amount to 10 dB⁹⁷. (MEYER, 2009, pp. 93 e 94)

⁹⁵ Seção 3.3.1.4, *Special Performance Techniques* (MEYER, 2009, p. 93).

⁹⁶ Vide seção 1.5.2.

⁹⁷ “O nível de amortecimento em diferentes alturas é importante no seu efeito no timbre. A maioria das surdinas atenua os componentes de frequências que ficam acima das contribuições nasais. Como resultado, é gerada uma sonoridade nasalada que muitas vezes é considerada típica de violinos com surdinas. Surdinas particularmente leves causam naturalmente mudanças menores, criando uma sonoridade um pouco mais suave e (apenas) levemente nasalada. Elas são especialmente adequadas para passagens baixas, nas quais as mudanças de ressonância mencionadas anteriormente, em direção às fundamentais das notas mais baixas da corda Ré, causadas por surdinas mais pesadas, seriam perturbadoras. Por outro lado, o uso desse tipo (de surdina) resulta em um som

Observa ainda, a respeito do uso de surdinas na viola, que a redução de intensidade não costuma atingir os mesmos níveis que no violino, já que as surdinas, em relação à massa do cavalete da viola, não seriam tão pesadas⁹⁸, podendo-se esperar uma redução de cerca de 4 dB, em comparação à sonoridade do instrumento sem surdina. Já no violoncelo, a ação das surdinas também é caracteristicamente mais forte no limite inferior da região grave, preservando uma grande faixa de variação dinâmica. E ainda, ao comentar a respeito da grande intensidade do contrabaixo em relação aos outros instrumentos de arco, observa que a intensidade do mesmo pode ser especialmente reduzida com o emprego da surdina, já que as contribuições das parciais harmônicas, que são efetivamente amortecidas pela surdina, se encontrariam numa faixa de frequências de grande sensibilidade auditiva, enquanto que os componentes harmônicos mais baixos estão em uma faixa à qual a audição já é, naturalmente, muito menos sensível (MEYER, 2009).

No livro *The Physics of Musical Instruments* (FLETCHER; ROSSING, 2012), Neville H. Fletcher e Thomas D. Rossing comentam, também brevemente, na seção dedicada ao cavalete dos instrumentos de arco⁹⁹, o uso das surdinas. Introduzindo o assunto com a frase “*In order to darken the sound of a string instrument, the player attaches a mute to the bridge*¹⁰⁰”, os autores se referem ao efeito principal da adição de massa ao cavalete, como sendo o deslocamento das frequências de ressonância do mesmo para valores mais baixos. Acrescentam ainda que efeito inverso pode ser obtido aumentando-se a flexibilidade do cavalete (MÜLLER, 1979 apud FLETCHER; ROSSING, 2012). Observam que a alteração na primeira frequência de ressonância do cavalete por meio de adição de massa pode ser calculada por meio de um modelo simples de oscilador massa/mola, citando um estudo (HACKLINGER, 1978 apud FLETCHER; ROSSING, 2012) no qual o autor estabeleceu esse valor em 0,52 gramas, para um dado cavalete com determinado grau de rigidez (*stiffness*), descrevendo em seguida que a efetiva adição de surdinas com massas de 0,32 e 0,86 gramas deslocou a ressonância principal do cavalete de 2.850 Hz para 2.240 e 1.745 Hz, respectivamente. Interessante observar que não são dados outros detalhes acerca dessas surdinas, como material de fabricação ou tipo de

muito suave e encoberto para as cordas Lá e Mi, já que também reduzem as contribuições nasais. No entanto, para isso é necessário um peso de cerca de 6 g, que é obtido com uma surdina de aço de cinco dentes, por exemplo. Através da escolha de surdinas adequadas, muitas variações tonais diferentes podem ser alcançadas. O uso da maioria das surdinas resulta numa redução da potência sonora irradiada da ordem de 6 dB. Com surdinas mais pesadas pode chegar a 10 dB.” (tradução nossa)

⁹⁸ Importante observar, porém, que são comercializadas surdinas produzidas especificamente para violas, que são proporcionalmente mais pesadas. Essa observação faz mais sentido, em princípio, imaginando-se que se utilizaria surdinas de violino em violas.

⁹⁹ Seção 10.8, *The bridge* (FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 297).

¹⁰⁰ “A fim de escurecer o som de um instrumento de cordas, o musicista coloca uma surdina no cavalete”. (tradução nossa)

acoplamento com o cavalete, sendo esses pesos citados bastante leves. Dentre as surdinas analisadas no presente trabalho, a mais leve pesa 1,45 gramas, e o dispositivo mais leve vendido como surdina de performance, localizado ao longo da pesquisa, pesava 1 grama.

William M. Hartmann, em *Principles of musical acoustics* (HARTMANN, 2013), também observa a extrema sensibilidade do cavalete a alterações, ao mencionar o efeito da surdina:

The mute on a violin, for especially soft playing, adds a little mass to the bridge and greatly reduces the coupling efficiency for high-frequency vibrations. The fact that a small change in mass in the bridge dramatically reduces the transfer of high-frequency power indicates that the function of the bridge is highly sensitive to its physical details¹⁰¹. (HARTMANN, 2013, p. 265)

Em *Why you hear what you hear: an experiential approach to sound, music, and psychoacoustics* (HELLER, 2013), na subseção dedicada a “alterações não destrutivas”¹⁰² do violino, o autor afirma:

We have been describing the delicate balance of factors that go into good transduction of vibration into sound over a wide range of frequencies in a violin. Many of these factors are easily disrupted. A clothespin may be attached to a bridge as an *ad hoc* mute. The mass thus added to the bridge increases the impedance mismatch and reduces the sound level of the violin. It also changes the tone by altering the bridge resonances. More formal violin mutes of several types, some of which damp the string directly, are sold for practice and performance¹⁰³. (HELLER, 2013, p. 390)

Sem maiores detalhes sobre a natureza das alterações produzidas pelo acréscimo de massa, chama a atenção para a conhecida prática de improvisar uma surdina com pregadores de roupa, que podem ser fixados ao cavalete, com efeito bastante limitado. No fim do comentário, a observação a respeito de tipos de surdinas que “amorteceriam” (*damp*) diretamente as cordas não é muito precisa. Como já comentado anteriormente (seção 2.1.2), há, de fato, surdinas fixadas diretamente às cordas, entre o cavalete e o estandarte, porém, só produzem efeito quando entram em contato com o cavalete, sendo esse o princípio de

¹⁰¹ “A surdina em um violino, para uma execução especialmente suave, adiciona um pouco de massa ao cavalete e reduz bastante a eficiência do acoplamento para vibrações de alta frequência. O fato de que uma pequena mudança na massa do cavalete reduza drasticamente a transferência de energia de alta frequência indica que a função do cavalete é altamente sensível aos seus detalhes físicos.” (tradução nossa)

¹⁰² Seção 18.9, *Nondestructive Modifications* (HELLER, 2013, p. 390).

¹⁰³ “Temos descrito o delicado equilíbrio de fatores que contribuem para uma boa transdução de vibração em som em uma ampla gama de frequências em um violino. Muitos desses fatores são facilmente perturbados. Um pregador de roupa pode ser colocado no cavalete como uma surdina *ad hoc*. A massa assim adicionada ao cavalete aumenta a diferença de impedância e reduz o nível de som do violino. Também age sobre o timbre alterando as ressonâncias do cavalete. Surdinas próprias para violino, de vários tipos, alguns dos quais amortecem diretamente as cordas, são vendidos para prática e performance.” (tradução nossa)

funcionamento conhecido dos dispositivos atualmente apresentados como surdinas: alterar o comportamento vibracional original do cavalete.

Em estudo realizado em 2014, intitulado *Acoustic signature of violins based on bridge transfer mobility measurements* (ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014), os autores desenvolvem uma investigação tendo em mente duas questões: a definição da assinatura de um instrumento, ou seja, um resumo de seu comportamento vibratório, e a relação existente entre o som musical e as propriedades vibratórias do corpo do instrumento, tomando como objeto de análise o violino. Uma das estratégias adotadas pelos autores para abordar a segunda dessas questões, foi comparar as curvas de amplitude dos harmônicos, extraídas de amostras de sinal de áudio de violino, e as curvas de transferência de mobilidade lateral do cavalete, que revelaram correlação entre si, sendo corroborada a ocorrência dessa correlação ao se repetir a mesma análise com a utilização de uma surdina de violino.

Inicialmente é descrito o método para estimar a transferência de mobilidade do cavalete, utilizado em todo o artigo, que registra o sinal de aceleração, através de um pequeno acelerômetro, quando a estrutura é submetida a um impulso de força, produzido por um pequeno martelo de impacto em um ponto determinado do cavalete¹⁰⁴. Foram analisados três violinos diferentes.

Para a análise do som dos instrumentos, os mesmos foram gravados em uma câmara anecoica, com um microfone posicionado a alguns centímetros à frente da caixa de ressonância, ao lado de um dos *fs*. Um músico não profissional, porém, com longa prática com o instrumento, realizou todas as execuções musicais utilizadas no artigo, tocando três glissandos descendentes (com 10 segundos de duração cada) na corda Sol, do Ré3 (292,5 Hz) até o Sol2 (195 Hz) em cada instrumento. Não foram fornecidas maiores informações sobre a performance.

É descrito em detalhes o processamento utilizado (ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014, p. 1388) para se fazer a estimativa harmônica e a análise de formantes¹⁰⁵, similar à utilizada em pesquisas acerca da voz, que utilizam o modelo fonte-filtro para detectar os formantes, com o emprego de LPC (*Linear Predictive Coding*). A partir desse processamento foi empregada LTAS para se obter uma visão geral das características harmônicas analisadas.

¹⁰⁴ Método utilizado em vários trabalhos que analisam as características de admitância do cavalete do violino.

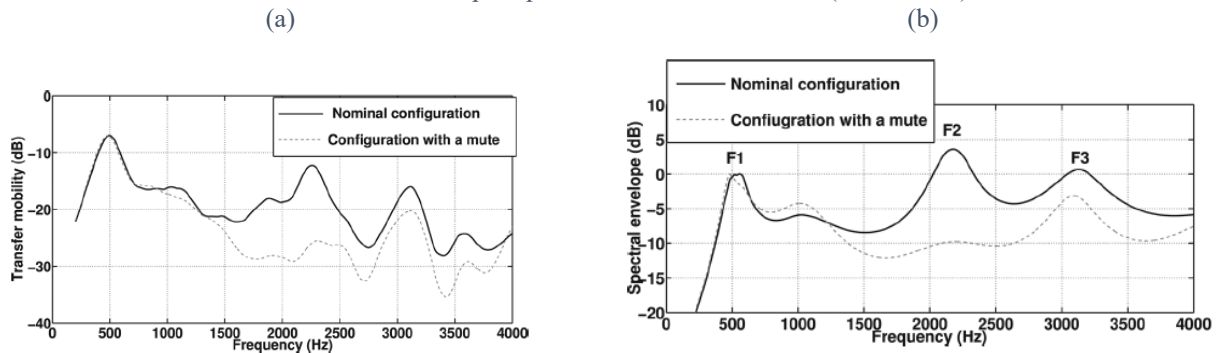
¹⁰⁵ Os formantes podem ser definidos como picos de energia em uma determinada região do espectro sonoro. Desse modo, as parciais que se encontram nessa região de ressonância são realçadas. Funcionam, portanto, como uma espécie de assinatura de uma determinada fonte sonora.

A surdina empregada no estudo¹⁰⁶ e seu uso foram caracterizados nos seguintes termos:

The violin mute is a small device which is usually placed on the bridge. It aims at weakening the bridge vibration and, consequently, the sound radiation. The present section deals with the effect of a particular mute on both the bridge transfer mobility and on the spectral characteristics of the violin sound. The methods described in previous sections are applied on the same violins in both configurations: With and without the mute placed on its bridge. The studied mute approximately weighs 1 g. Since one may expect a global effect of the violin mute, this section uses the global study, namely, it computes the averaged transfer mobility and the long-time averaged envelope curves. This technique efficiently emphasizes the effect of the violin mute¹⁰⁷. (ELIE, GAUTIER, DAVID, 2014, p. 1390)

São apresentados os resultados obtidos em dois gráficos (Fig. 2.12):

Figura 2.12 – (a) Média da transferência de mobilidade lateral do cavalete do violino 1 analisado no artigo, sem surdina e com surdina, e (b) LTAS do mesmo violino tocando um glissando sem e com surdina. O envelope espectral exibe três formantes (F1, F2 e F3).



(fonte: ELIE, GAUTIER, DAVID, 2014, pp. 1391 e 1392)

Em relação à transferência de mobilidade (Fig. 2.12a), observam: (a) no domínio das frequências baixas, abaixo dos 1.000 Hz, a transferência de mobilidade foi pouco modificada pelo uso da surdina; (b) na faixa entre 1.000-2.500 Hz, a curva da média da mobilidade foi muito mais baixa com o uso da surdina do que sem; e (c) acima de 2.500 Hz a diferença entre as curvas das duas condições de estudo foi pequena.

¹⁰⁶ Há uma imagem da referida surdina em posição de uso no artigo, sendo possível identificá-la como um modelo tipo “tourte”, circular, com dois orifícios e um único dente para acoplamento com o cavalete. Na presente pesquisa é analisada uma surdina similar, porém, mais pesada, com 1,85 gramas (vide seção 3.2.1.2).

¹⁰⁷ “A surdina de violino é um pequeno dispositivo que geralmente é colocado no cavalete. Visa atenuar a vibração do cavalete e, conseqüentemente, a irradiação sonora. A presente seção lida com o efeito de uma surdina específica em relação tanto à mobilidade de transferência do cavalete quanto em relação às características espectrais do som do violino. Os métodos descritos nas seções anteriores são aplicados nos mesmos violinos em ambas as configurações: com e sem a surdina colocada no seu cavalete. A surdina analisada pesa aproximadamente 1 g. Como se pode esperar um efeito global da surdina do violino, esta seção usa um método global, ou seja, calcula a mobilidade média de transferência e as curvas de envelope médio de longo prazo. Esta técnica enfatiza eficientemente o efeito da surdina do violino”. (tradução nossa)

Quanto ao efeito nas curvas médias dos envelopes espectrais (Fig. 2.12b), observa-se o desaparecimento de F2 (segundo formante), mesma faixa de frequência em que se observou forte alteração na mobilidade lateral do cavalete. Os autores chamam a atenção para o fato de que essa região coincide com a área do *bridge hill*, observando ainda que a mesma abarca a região de maior sensibilidade auditiva humana.

São particularmente relevantes para a presente pesquisa, alguns aspectos metodológicos empregados, como a utilização de glissandos para a amostragem do som dos violinos, o uso de médias para efeitos comparativos e o emprego da LTAS (ainda que com aspectos de implementação bastante distintos). A conclusão final, de que a distribuição energética das parciais harmônicas do som do instrumento está correlacionada à mobilidade de transferência lateral do cavalete, endossa as demais pesquisas que indicam, justamente, que o efeito da surdina depende da alteração que produz no funcionamento dessa peça.

Em outra frente de pesquisa, no artigo *Musical offset detection of pitched instruments: the case of violin* (LIANG et al., 2015), os autores desenvolvem um trabalho focado na detecção de *offsets* de notas musicais, considerando que a caracterização desse tipo de evento é essencial para o processamento de sinais de áudio, havendo, porém, relativamente poucos estudos a respeito, ao contrário do caso do *onset*, que recebe grande atenção nos meios dedicados a esse gênero de pesquisa¹⁰⁸. Dentro dessa perspectiva é desenvolvido um estudo preliminar, focado no violino, enquanto instrumento não percussivo de altura definida, baseado na detecção de *offset* por meio da avaliação da altura, do envelope de energia e do fluxo espectral¹⁰⁹. É aplicado o processo de detecção de *offset* proposto pelos autores a seis diferentes técnicas de execução do violino: *pizzicato*, *spiccato*, *sordino*, *flageolet* (harmônicos), *sul tasto* e *sul ponticello*¹¹⁰. Essas diferentes técnicas produzem vários padrões de envelopes temporais, fornecendo assim um conjunto de referências prático para avaliar algoritmos de detecção de *offsets*. A análise é feita a partir de um *dataset* com 63 trechos de solo de violino, com um total de 1.226 notas, coletadas de vídeos do *YouTube* e de um site voltado para esse tipo de análise

¹⁰⁸ Na perspectiva do tradicional envelope dinâmico ADSR (*Attack*, *Decay*, *Sustain* e *Release*) o *onset* está circunscrito, de forma pontual, ao início do *Attack* na grande maioria das fontes sonoras, ao passo que o *offset* compreende um trecho de grande ambiguidade, dependendo das propriedades da fonte sonora, muitas vezes com fronteiras indistintas entre as fases de sustentação e repouso (*sustain* e *release*).

¹⁰⁹ Também denominado na literatura variação espectral, representa a quantidade de flutuação da energia espectral quadro a quadro ao longo do tempo. É calculado através da diferença de energia entre quadros FFT consecutivos (PEETERS, 2004; PARK, 2009).

¹¹⁰ Deslocar o ponto de contato da crina do arco com as cordas, durante a execução musical, para próximo do fim do espelho ou para próximo do cavalete, respectivamente. Tal ação altera significativamente o som emitido pelo instrumento, sendo o efeito, eventualmente, demandado explicitamente nas partituras, por meio dessas expressões, pelos compositores.

(*CompositionToday.com*), utilizando os seis tipos de performance citados acima. Os resultados mostram que a precisão do algoritmo de detecção de *offsets* é altamente dependente das técnicas de execução empregadas, sendo constatado que, no geral, a detecção por meio da variação da altura funciona melhor do que por meio do envelope energético ou do fluxo espectral para a maioria das técnicas de performance analisadas, inclusive para o caso dos trechos com o uso de surdina. O trabalho apresenta uma nova perspectiva de análise dos efeitos gerados pelo uso de surdina, ao diferenciá-lo de outras formas de execução do instrumento, em um aspecto específico do desenvolvimento temporal do envelope sonoro.

Por último, em pesquisa da área de musicologia histórica, *Timbre Before Timbre* (LOUGHRIDGE, 2021), Loughridge apresenta uma interessante discussão acerca do desenvolvimento da percepção do timbre na música europeia, desde a sua não diferenciação clara de outros parâmetros musicais (como a altura e a intensidade) no séc. XVI até o seu reconhecimento como um recurso de expressão musical específico, quando então a compreensão do efeito da utilização de diferentes registros de órgãos de tubos e, posteriormente, o aperfeiçoamento dos pedais de piano, analisados no artigo, ganham outra dimensão na prática musical, juntamente com a percepção das surdinas de cordas como um recurso essencialmente da mesma natureza. Aprofundando alguns aspectos já abordados em seu trabalho anterior já citado, *Muted violins from Lully to Haydn* (LOUGHRIDGE, 2016), a discussão proposta mostra-se bastante relevante no âmbito do entendimento da utilização das surdinas como recurso estético de alteração do timbre, justificando definitivamente sua atual prática em performance para além de questões relacionadas à atenuação da intensidade.

2.2.2 Pesquisas que tem as surdinas como objeto direto de estudo

Como já observado no início da subseção, o primeiro trabalho localizado, que tem as surdinas como objeto direto de pesquisa, é um relato parcial de estudo feito por Seashore em 1938, no *Music Educators Journal* (SEASHORE, 1938b), no qual se referiria à pesquisa também citada em seu livro *Psychology of music* (SEASHORE, 1938a, p. 215). Com o título *What does the mute do to a violin tone?* a pesquisa atribuída a E. Porter Horne¹¹¹ é apresentada nos seguintes termos:

Horne studied the effect upon a violin tone of mutes differing in material, shape, size, and weight, with two differing violins and found significant differences in the effect of different mutes. I will report here only the characteristic effect of a mute commonly

¹¹¹ Vide nota 69 à página 99.

used, a commercial 7-gram 5-prong, metal mute, cork separated. The findings are for a Venetian Zanolli violin dated about 1750¹¹². (SEASHORE, 1938b, p.23)

É descrita a utilização de um arco mecânico para tocar as quatro cordas soltas do instrumento, de maneira a se obter a melhor sonoridade possível¹¹³, sem surdina e com o uso do dispositivo descrito acima. O experimento teria como objetivo responder a duas questões: como a surdina afetaria a intensidade geral do instrumento, e qual o seu efeito na distribuição da energia espectral original do instrumento analisado.

Embora o escopo descrito do trabalho apresente várias semelhanças com a presente pesquisa (investigação de surdinas diferentes, variação de características físicas específicas, comparação em mais de um instrumento), o fato de terem sido apresentados nesse relato apenas dados relativos à análise de uma única surdina, com amostragem de poucas notas, em um único instrumento, sem detalhamento metodológico, inviabiliza a avaliação do alcance dos resultados eventualmente obtidos no estudo relatado. Embora ele se refira ao dispositivo analisado como uma surdina comumente usada, a mesma, feita de metal e com cinco dentes, em princípio, não seria considerada hoje uma surdina de performance, faltando informação a respeito se seria uma surdina de estudo ou não, embora o peso relatado seja relativamente pequeno, se comparado ao de abafadores utilizados atualmente.

Também sem detalhamento a respeito do tipo de análise espectral implementada, são apresentados quatro espectros relativos às notas das quatro cordas soltas, com as parciais harmônicas representadas sem e com o uso da surdina. As conclusões gerais da análise são apresentadas nos seguintes termos:

1. The mute reduces the total intensity of the tone. To our surprise it is shown that there is in general no lowering of the intensity of the fundamental. The decrease in intensity comes largely through the middle range of overtones.
2. The effect is quite radically different upon the four strings. For the G string, there is a general tendency to weaken all the overtones above the first to a marked extent. For the D string, there is a general tendency to weaken the first seven overtones and an irregular tendency to strengthen the highest overtones. For the A string, there is a general tendency to weaken the first four overtones and strengthen the next ten. For the E string, there is a tendency to weaken the first three overtones and strengthen the highest six.

¹¹² “Horne estudou o efeito sobre o timbre do violino de surdinas diferentes em material, forma, tamanho e peso, em dois violinos diferentes e encontrou diferenças significativas no efeito de distintas surdinas. Vou relatar aqui apenas o efeito característico de uma surdina comumente usada, uma surdina comercial de 7 gramas, 5 dentes, de metal, separado com cortiça. As observações são de um violino veneziano Zanolli datado de cerca de 1750.” (tradução nossa)

¹¹³ “*His procedure was to play the open string under the most favorable conditions for good tone quality (...)*” (SEASHORE, 1938b, p. 23).

3. The effect of the mute upon the overtone structure in good playing varies with the pitch level, the loudness level, the natural timbre of the string, the character of the instrument, and the character of the mute¹¹⁴. (SEASHORE, 1938b, p. 23)

A natureza das conclusões sugere que foram utilizados outros dados além dos espectros da condição de estudo analisada no relato especificamente, já que no tópico três, por exemplo, é apresentada uma conclusão de caráter comparativo com outras condições de estudo. Da mesma forma, a afirmação apresentada no tópico um, em relação à redução geral de intensidade da sonoridade com o uso da surdina, não estaria claramente constatada unicamente com os espectros apresentados (nos quais falta, inclusive, a escala de valores relativos à energia, sendo apenas mencionado que seriam dBs). Em relação às alterações espectrais comentadas no tópico dois, há divergência com resultados apresentados por outros autores em relação à corda Mi, onde há transferência de energia especificamente para a fundamental, sendo o mais comumente constatado para essa faixa de frequência um decréscimo mais proporcional de todas as parciais (EDWARDS, 1911; MEYER, 2009; DA SILVA EVANGELISTA, 2019). Na corda Ré há discreta transferência de energia para a fundamental e na corda Sol somente para o segundo harmônico, ficando a fundamental um pouco mais fraca, mas, podendo-se considerar ainda em sintonia com os resultados de outros trabalhos (EDWARDS, 1911; MEYER, 2009; DA SILVA EVANGELISTA, 2019).

No artigo *Influence of the Weight of Mutes on Tones of a Violin Family* (KISHI, 1998), o autor relata um estudo feito com uma surdina denominada “*KS-type Fantastic Sordino*”, que estaria sendo desenvolvida pelos violinistas K. Katoh e T. Sugano, então não lançada comercialmente¹¹⁵, feita de bronze revestido de ouro, em formato de arco e recoberta por um tubo de vinil¹¹⁶ (não há imagem da mesma no artigo). O peso do dispositivo poderia ser ligeiramente variado de 1,35 a 1,85 gramas no caso do violino (1,85 a 2,50 gramas para viola e 6,0 a 9,5 gramas para violoncelo) por meio do comprimento do tubo de vinil. Foram analisadas

¹¹⁴ “1. A surdina reduz a intensidade total da sonoridade. Para nossa surpresa, vê-se que em geral não há diminuição da intensidade da fundamental. A diminuição na intensidade vem em grande parte através da faixa média de harmônicos.

2. O efeito é radicalmente diferente nas quatro cordas. Para a corda Sol, há uma tendência geral de enfraquecer todos os harmônicos acima do primeiro de forma acentuada. Para a corda Ré, há uma tendência geral de enfraquecer os primeiros sete harmônicos e uma tendência irregular de fortalecer os harmônicos mais altos. Para a corda Lá, há uma tendência geral de enfraquecer os primeiros quatro harmônicos e fortalecer os próximos dez. Para a corda Mi, há uma tendência de enfraquecer os três primeiros harmônicos e fortalecer os seis mais altos.

3. O efeito da surdina sobre a estrutura dos harmônicos em uma boa execução varia com a altura da nota, o nível da intensidade, o timbre natural da corda, o caráter do instrumento e o caráter da surdina.” (tradução nossa)

¹¹⁵ Foram feitas buscas na internet, em lojas especializadas, pelo nome do dispositivo, não tendo sido encontrado nenhum produto com a mesma denominação, nem com as características descritas.

¹¹⁶ “(...) made of gold plated phosphor bronze bent to an Ω -shape and covered with a vinyl tube.” (KISHI, 1998, p. 1477)

a influência de diferentes pesos da surdina na sonoridade de um violino e na transferência de mobilidade de um cavalete de violoncelo.

São apresentados detalhes metodológicos, como tipo de microfone utilizado, posicionamento do mesmo em relação ao instrumento (um metro de distância do cavalete), e a execução da amostragem, feita por um violinista profissional, em uma câmara anecoica, com um violino italiano antigo Tononi (1700), sendo gravado sem e com surdina do Sol2 ao Si4, tendo sido solicitado ao executante que tocasse *mezzo-forte*, sem vibrato, com duração de cerca de um segundo para cada nota¹¹⁷. No estudo foram analisadas, porém, somente as notas produzidas pelas quatro cordas soltas (Sol2, Ré3, Lá3 e Mi4) e três outras notas, o Ré3 tocado na corda Sol, o Lá3 na corda Ré e o Mi4 na corda Lá. Foram utilizadas configurações da surdina com 1,40, 1,47, 1,54, 1,60 e 1,72 gramas. Para discussão dos resultados são apresentados espectros com as diferentes condições de estudo de apenas duas das notas analisadas, o Sol3 solto e o Mi4 solto (Fig. 2.13). Os comentários feitos a partir desses resultados são, porém, muito sucintos, sobretudo diante da ausência dos espectros das outras notas analisadas:

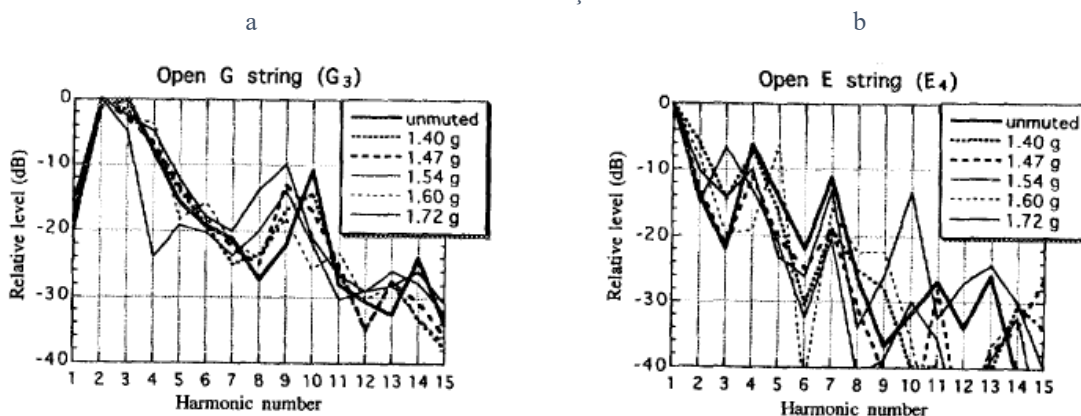
The results for only two open strings are shown in Fig. 1.

From these figures and the five omitted figures, we can see the following features.

1. The mute weight does not influence G3 and D4 tones very much except for the higher order harmonics.
2. The influence is clear for A4 and E5 tones, although tendencies of the influence are not clear.

(fonte: KISHI, 1998, p. 1477)

Figura 2.13 – Envelopes espectrais sem e com surdina do Sol2¹¹⁸ solto (a) e do Mi4 solto (b) nas diferentes condições de estudo.



(fonte: KISHI, 1998, p. 1477)

¹¹⁷ Não há maior detalhamento sobre a execução, não sendo mencionado o golpe de arco empregado ou outros aspectos, como quantidade e região de arco utilizada ou ponto de contato, deixando em aberto, portanto, uma grande variedade de formas de execução possíveis para as instruções efetivamente descritas.

¹¹⁸ A divergência de numeração da oitava com a apresentada na figura abaixo é devido à diferença de numeração das oitavas na escala geral americana e brasileira, onde o C4 americano equivale ao Dó3 brasileiro (261,6 Hz).

Há falta de clareza no gráfico mostrado na Fig. 2.13a nos três primeiros harmônicos, embora pareça haver alguma transferência de energia para os mesmos, pelo menos por algumas das configurações de peso, o que seria o efeito mais típico observado em outras pesquisas, havendo pequena transferência de energia mais claramente representada no gráfico entre o quarto e o sexto harmônicos. O efeito referido no item um do comentário transcrito acima, a respeito de maior efeito das surdinas nos harmônicos mais altos das duas notas mais graves analisadas (Sol2 e Ré3), entendidos como compreendendo também da oitava à décima parcial do gráfico 2.13a, estaria em acordo com a típica perda de energia na faixa do *bridge hill*, considerando que o décimo harmônico do Sol3 (196 Hz) estaria no limiar dessa ressonância de referência. O comentário do item dois também pode ser considerado condizente com o descrito na literatura, ao caracterizar uma maior perda de energia ao longo de todo o espectro (Fig. 2.13b), embora, nessa análise específica, aconteça de maneira bem irregular nas condições de estudo comparadas (sem surdina e com as diversas surdinas).

Como conclusão geral, baseada também na análise da mobilidade do cavalete do violoncelo descrita no artigo (na qual é observada perda na transferência de mobilidade do cavalete, com abaixamento variado da frequência de maior resposta de transferência de acordo com o peso das surdinas acrescentadas), o autor conclui que a principal ação do dispositivo é abaixar os modos de vibração do cavalete, já que o topo do mesmo se comporta como uma placa rígida à qual a surdina acrescenta massa. Observa, porém, que a existência de modos de ressonância superiores do cavalete e as ressonâncias do corpo do instrumento tornam as análises complexas.

É importante observar que a variação de peso analisada, que abarca apenas 0,32 gramas, é muito pequena¹¹⁹, o que, junto a uma amostragem pouco redundante (pelo descrito não houve repetição da amostragem, constituindo-se a mesma de uma única execução), pode gerar variações nos resultados que tornariam esses dados imprecisos. Pelos resultados observados na anterior pesquisa de mestrado e demais estudos que vem sendo conduzidos no âmbito do presente trabalho, seria necessária uma variação de peso mais significativa e uma amostragem melhor dimensionada para conclusões mais assertivas. Ainda assim, o trabalho apresenta conclusões condizentes com o observado ao longo da literatura revisada.

Dois artigos relacionados, no campo da musicologia histórica, têm como foco as surdinas de violino: *Metallic Mutes Used in the Eighteenth Century* (AHRENS, 2007), de

¹¹⁹ Considerando-se a surdina mais leve, com 1,40g, o peso dos dispositivos foi variado progressivamente em aproximadamente 5% (0,07g). Nessa faixa de peso, não é surpreendente que variações dessa ordem tendam a produzir efeitos sutis.

Christian Ahrens e *Muted violins from Lully to Haydn* (LOUGHRIDGE, 2016), de Deirdre Loughridge, ambos citados anteriormente na subseção 2.1.1 (*Histórico de utilização das surdinas*). O primeiro é dedicado às evidências documentais localizadas pelo autor que indicariam a aquisição e consequente utilização de surdinas metálicas para violinos e violas (além de trompas) na corte de Sondershausen (Alemanha central) no séc. XVIII. Mais limitado ao aspecto documental, apresenta relevância diante da escassez de material a respeito do tópico, como bem observa o autor na abertura do artigo: “*As artefacts of historical mutes for strings and brass are so few in number, any written sources describing them in some detail are highly valuable*¹²⁰”. Já no segundo artigo, a autora apresenta uma elaborada pesquisa histórica a respeito das surdinas, suas origens, concepção e utilização anterior ao séc. XIX, preenchendo uma grande lacuna a respeito do estudo das surdinas, não tendo sido localizado nenhum outro trabalho dedicado de forma tão aprofundada e elaborada ao tema. Relacionando uma ampla variedade de fontes históricas descreve a trajetória do dispositivo, desde seus primórdios até o séc. XVIII, estabelecendo uma discussão de alto nível acerca de sua utilização, considerando como sua provável origem a necessidade de algum meio de controle da intensidade dos instrumentos musicais, para, posteriormente, ser redefinido como recurso de variação timbrística das cordas friccionadas.

No artigo *ACF Analysis over the Open Strings’ Sound of a Violin with and without various mutes* (TAJIMI et al., 2011), os autores investigam três surdinas distintas, utilizando mensurações de nível de pressão sonora, análise espectral e função de autocorrelação (ACF), partindo da premissa de que o entendimento encontrado na literatura especializada, que relaciona a alteração na sonoridade do instrumento, basicamente, com mudanças na distribuição da energia espectral, seria insuficiente para explicar inteiramente o fenômeno já que, apesar das mudanças no timbre, o som do instrumento continua sendo percebido como tal, ainda que alterado.

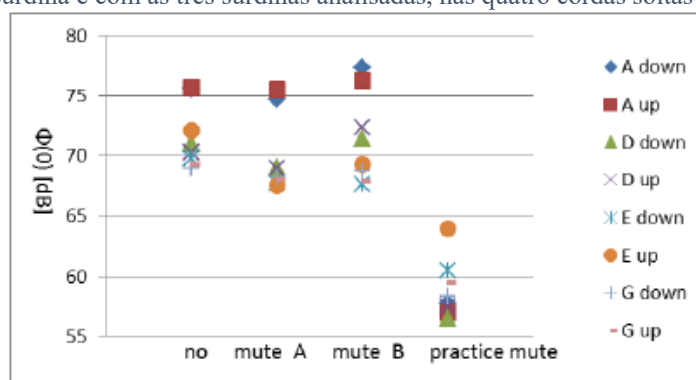
A amostragem foi realizada com um violino, do qual não é dada nenhuma referência, utilizando duas surdinas de performance, feitas de borracha (*rubber*), que serão denominadas A e B e um abafador de metal pesado¹²¹, denominado surdina C, não tendo sido informados os pesos das mesmas. A captação foi feita em uma câmara anecoica, com um microfone *dummy*

¹²⁰ “Como os exemplares de surdinas históricas para cordas e metais são tão pouco numerosos, quaisquer fontes escritas que os descrevam com algum detalhe são altamente valiosas.” (tradução nossa)

¹²¹ Pelas imagens constantes no artigo, os três modelos de surdina são comercializados atualmente, sendo as duas de performance do tipo *tourte*, com um e dois orifícios e a terceira um abafador de metal com quatro dentes. Modelos similares às três foram utilizadas na presente pesquisa, identificadas respectivamente com as siglas sdBor1, sdBor2 e abfMt1 (vide seção 3.2).

*head*¹²² posicionado a 1,6 m de altura e 1 m de distância do executante, que tocou de pé notas longas (“*long tones*”), para baixo e para cima (direções do arco), nas quatro cordas soltas do instrumento, sem surdina e com cada uma das três surdinas analisadas. Não são fornecidos outros detalhes sobre a execução (quantidade e região do arco empregada, ponto de contato etc.), a não ser que o instrumento foi tocado sempre de forma o mais uniforme e natural possível (“*in each case, the instrument was played uniformly and naturally as possible*” (TAJIMI et al., 2011, p. 2)). São apresentados gráficos com os níveis de pressão sonora das oito amostras colhidas (Fig. 2.14), de espectros harmônicos (somente da corda Ré) e dos envelopes dinâmicos obtidos por meio da função de autocorrelação, também somente da corda Ré (Fig. 2.15), além de mais alguns gráficos de outros parâmetros da ACF.

Figura 2.14 – Nível de pressão sonora de cada uma das quatro condições de estudo, sem surdina e com as três surdinas analisadas, nas quatro cordas soltas do violino.



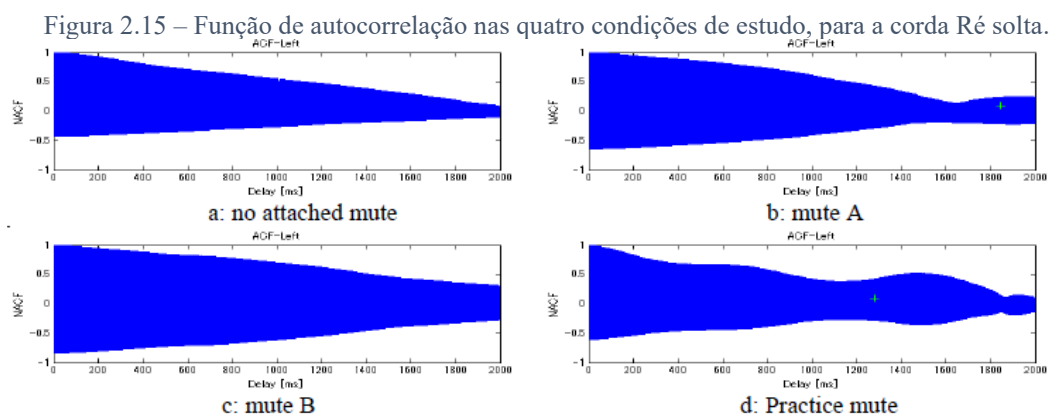
(fonte: TAJIMI et al., 2011, p. 2)

É feita uma referência ao estudo da voz humana, sendo lembrado que a mesma é compreendida como um filtro dinâmico, que define os formantes por meio das alterações na distribuição espectral da mesma, e que a sonoridade do violino sob o efeito das surdinas poderia ser analisada da mesma forma, já que as mesmas poderiam ser consideradas filtros distintos, cujas características dinâmicas poderiam ser avaliadas pela aplicação da ACF.

Na apresentação dos resultados, a discussão a respeito dos dados relativos à intensidade (Fig. 2.14) é bastante superficial, sendo observado sucintamente que não houve diferença significativa entre as condições de estudo com as surdinas de performance (A e B) e a condição sem surdina, tendo sido o uso da surdina de estudo (C) o único a impactar significativamente nesse parâmetro, com uma perda média de 10/15dB, em comparação com

¹²² Trata-se de um sistema de captação binaural montado numa cabeça de manequim projetada para replicar a cabeça humana média, equipada com pavilhões auriculares e canais auditivos nos quais pequenos microfones são colocados, um em cada orelha, com o objetivo de simular a recepção humana do som.

as outras condições. Observando-se o gráfico 2.14, porém, há alterações por volta de 3 dBs (o que representa uma diferença de intensidade de cerca de 30%), como na corda Mi com o uso da surdina B e maior ainda, na mesma corda, com o uso da surdina A. Além disso, na corda Lá, com o uso da surdina B há aumento na intensidade medida, o que é um dado relevante, sobretudo considerando que essa nota (440 Hz) não está compreendida no registro mais grave do instrumento, sujeito a maior transferência de energia pelo uso das surdinas. Observa-se também que, com exceção da condição de estudo com o uso do abafador (C), em todas as outras situações a corda Lá apresentou as maiores leituras de intensidade, comparada com as outras cordas, o que não tem sido observado nas amostragens feitas ao longa da presente pesquisa, desde o trabalho de mestrado, o que inclui mensurações em sete violinos diferentes (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, 2020), nas quais foi observado aumento de intensidade com o uso de surdinas somente em notas mais graves. Como em outros trabalhos analisados, a falta de detalhamento do procedimento de amostragem dificulta uma avaliação mais aprofundada da pesquisa, já que as condições de execução podem influenciar muito nesse tipo de mensuração.



(fonte: TAJIMI et al., 2011, p. 3)

Da mesma maneira, as observações dos espectros apresentados, da corda Ré, minimizam bastante as eventuais diferenças reveladas além de não haver maior informação acerca da implementação utilizada para se chegar aos mesmos. Os autores observam que os envelopes obtidos com a ACF são características dinâmicas importantes no som musical, e não costumam ser discutidos junto com a análise espectral convencional.

Percebe-se que a ênfase dos autores é dada ao uso da ACF, proposta como ferramenta mais eficiente para a diferenciação entre a sonoridade original do instrumento e com o uso das diferentes surdinas, apresentando, de fato, resultados consistentes, como pode ser observado na Fig. 2.15. Os envelopes dinâmicos obtidos a partir da ACF mostram contornos bastante

distintos, além de outros dados gerados com o uso do mesmo recurso, presentes no artigo. Porém, a associação com os outros meios de análise tradicionais, também implementados pelos autores, de forma mais cuidadosa, poderia tornar a discussão presente no artigo mais robusta.

Em resumo publicado no *The Journal of the Acoustical Society of America*, intitulado *Empirical study of violin acoustics and its perception under various mutes* (MOUSAVION; SARKAR, 2015)¹²³, é descrita uma pesquisa que analisaria os efeitos de diferentes surdinas de estudo na sonoridade do violino, buscando detectar os marcadores acústicos que permitem que a sonoridade do instrumento continue sendo reconhecida como tal, apesar das alterações provocadas pelo uso de abafadores. Partindo da assertiva de que as surdinas de estudo alteram demasiadamente a sonoridade do instrumento paralelamente à forte redução da intensidade, é observado que o principal problema é, justamente, a grande complexidade da produção, propagação e percepção da sonoridade do violino. A partir de análises empíricas, cuja metodologia não está descrita, são feitas observações de caráter geral como:

Here, we show that all types of mutes necessarily diminish the frequency band of 1.5–2.5 kHz, which tips the balance of the sound toward a darker color. The results demonstrate that unless a proportional balance between the amplitude of the harmonics of each tone is maintained, the sound loses its Brilliance character¹²⁴. (MOUSAVION; SARKAR, 2015, p. 1935)

Não obstante a coerência com os efeitos descritos na literatura e com a própria produção da presente pesquisa, a falta de detalhes acerca do trabalho impede uma melhor avaliação do que é apresentado (não está claro se, por exemplo, foram analisados apenas abafadores). É observado ainda que algumas surdinas produzem picos de ressonância espúrios na faixa das frequências baixas, o que reforçaria a alteração desequilibrada nas notas mais graves do instrumento, e que, justamente, o desenvolvimento de algum mecanismo para controle desse tipo de efeito, a partir de análises acústicas, permitiria o desenvolvimento de surdinas que desfigurassem menos a sonoridade original do violino.

Por fim, o também já citado artigo *CON SORDINO: The Art of the Mute* (SARCH, 2017), de Kenneth Sarch, de 2017, apresenta as surdinas de maneira geral, numa visão contemporânea, fazendo um levantamento em relação às principais características dos

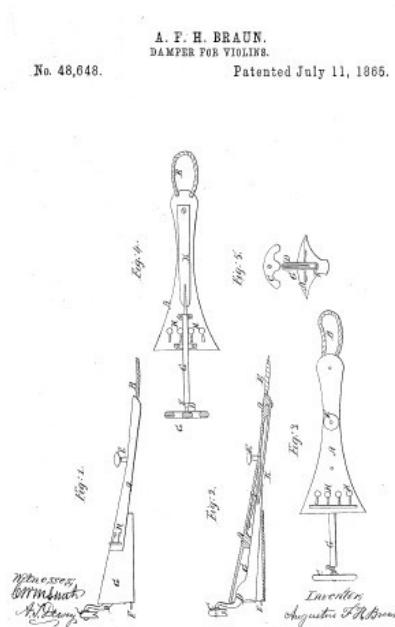
¹²³ Não foi localizada publicação do artigo integral em pesquisas pela internet e mesmo tentativas de contato com os autores, solicitando acesso ao trabalho, não foram bem sucedidas. Ao que tudo indica, o trabalho completo, na verdade, ainda não foi publicado.

¹²⁴ “Aqui, mostramos que todos os tipos de surdinas necessariamente diminuem a faixa de frequência de 1,5 a 2,5 kHz, o que altera o equilíbrio da sonoridade para um timbre mais escuro. Os resultados demonstram que, a menos que seja mantido um equilíbrio proporcional entre a amplitude dos harmônicos de cada nota, a sonoridade perde seu característico brilho.” (tradução nossa)

dispositivos, e tratando também de questões concernentes a aspectos estéticos de seu uso na prática musical contemporânea. Não se baseia, porém, em nenhum dado relacionado a mensurações acústicas controladas ao se referir aos efeitos da surdina, sendo a caracterização proposta pelo autor fruto, aparentemente, de suas observações enquanto musicista, não entrando, em absoluto, em nenhuma proposta de entendimento do funcionamento físico do dispositivo, além da mera menção à evidente alteração do comportamento vibracional original do cavalete. O autor descreve vários tipos de surdinas que experimentou pessoalmente, além de fazer uma classificação para os diferentes tipos de dispositivos¹²⁵, relatando grande diferença de efeito produzido pelos mesmos, tanto em relação à alteração na intensidade quanto em relação à mudança de timbre. Apesar de seu caráter um tanto genérico, o artigo é bastante abrangente ao conseguir abarcar as principais características físicas do dispositivo e de que maneira ele se insere na prática atual musical das cordas, sobretudo, diante da escassez de material a respeito do tema, o que aliás, o próprio autor observa em seu texto: *“Except for the article you are now reading, you will not find much information, advice, or recommendation for the artistic use of the mutes!”*¹²⁶ (SARCH, 2017, p. 24).

2.3 Estado da técnica de surdinas para violino

Figura 2.16 – Fac-símile da primeira patente de surdina localizada, de 1865.



(fonte: U.S. Patent n. 48.648)

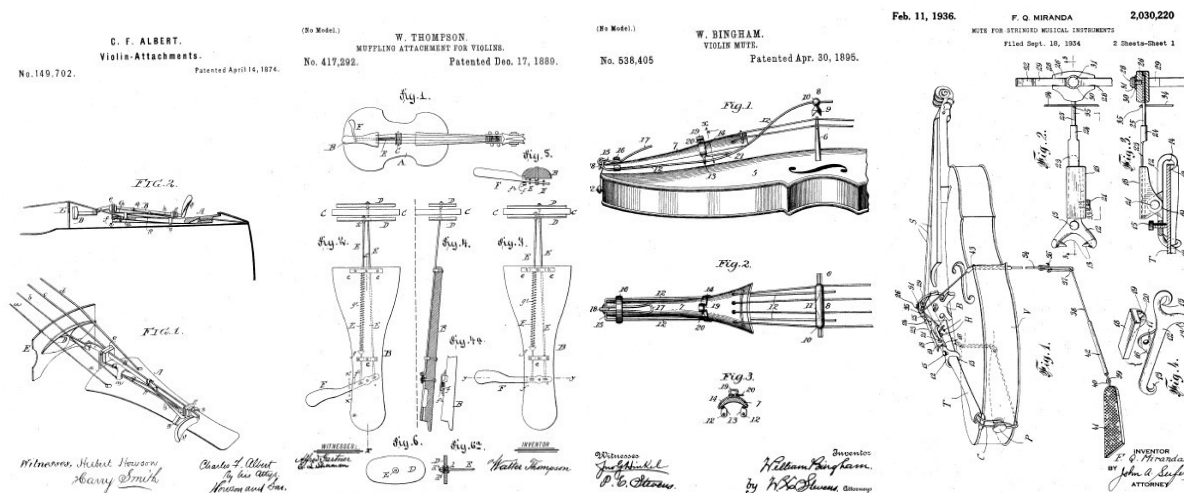
¹²⁵ Vide subseção 2.1.2, página 89.

¹²⁶ “Exceto pelo artigo que você está lendo agora, você não encontrará muito mais informação, conselho, ou recomendação para o uso artístico de surdinas!” (tradução nossa)

A Lei de Propriedade Industrial (LPI), de maio de 1996, estabelece que o “estado da técnica é constituído por tudo aquilo tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior, ressalvado o disposto nos arts. 12, 16 e 17” (Art. 11, § 1º da LPI)¹²⁷. O estado da técnica representa, portanto, o conjunto do conhecimento necessário à produção técnica de algum produto, disponível publicamente, quer o mesmo esteja protegido por patente (ou algum outro tipo de propriedade comercial) ou não. Pode-se obter uma visão geral do estado da técnica de determinado campo, por meio do levantamento das patentes relativas ao mesmo que foram sendo registradas ao longo do tempo. Nesse contexto, foram localizadas 78 patentes diferentes de surdinas de violino ou congêneres, todas registradas no *United States Patent Office*, sendo a mais antiga de 1865 (Fig. 2.16) e a mais recente de 2020¹²⁸.

Chama a atenção a grande variedade de soluções propostas desde a segunda metade do século XIX, algumas das quais apresentando mecanismos bem complexos, de difícil viabilidade prática (até mesmo com acionamento por pedal), sobretudo com sistemas acoplados ao estandarte dos instrumentos (Fig. 2.17).

Figura 2.17 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com mecanismos acoplados ao estandarte, da esquerda para a direita de 1874, 1889, 1895 e 1936.



(fonte: U.S. Patents n. 149.702, 417.292, 538.405 e 2.030.220)

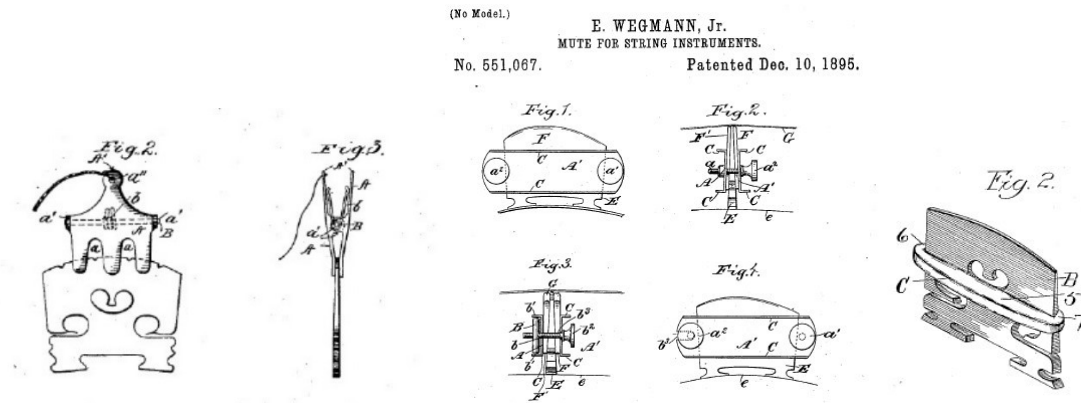
Alguns modelos diferenciam-se por apresentarem abordagens pouco usuais, nem sempre havendo uma distinção clara entre dispositivos desenvolvidos com o objetivo de serem abafadores (*practice mute*) ou surdinas para performance, havendo proposta que pressupõem

¹²⁷ Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19279.htm. Acesso em: 07 jul. 2023.

¹²⁸ A lista com todas as patentes localizadas está disponível no Anexo A.

dispositivos montados permanentemente no instrumento ou que dependem de instalação mais complexa (Fig. 2.18 e 2.19).

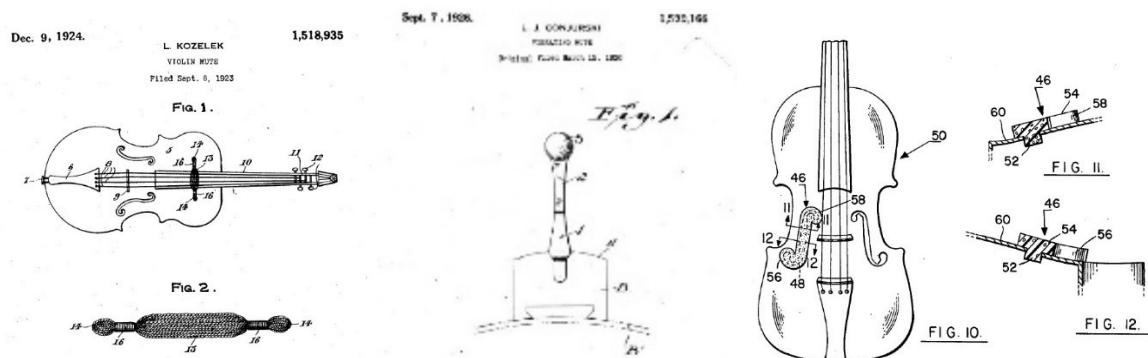
Figura 2.18 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com propostas pouco usuais, da esquerda para a direita de 1890, 1895 e 1909.



(fonte: U.S. Patents n. 433.192, 538.405 e 917.512)

Embora a grande maioria dos dispositivos descritos nas patentes pressuponha, logicamente, contato com o cavalete (que se pode considerar um requisito básico para a definição de uma surdina atualmente), dentre as patentes levantadas foram encontradas algumas propostas de mecanismos que exploraram outras possibilidades para a obtenção de efeito similar ao das surdinas mais típicas, como as ilustradas na figura 2.19, nas duas imagens das extremidades: a primeira, à esquerda, apresenta um dispositivo que entraria em contato diretamente com as cordas, ou seja, amorteceria a própria vibração das mesmas, o que, eventualmente, comprometeria até mesmo a prática de estudo estrita; e a segunda, à direita, uma espécie de tampão para ser colocado sobre as aberturas da caixa de ressonância (f_s), o que produz um efeito bastante limitado em termos de atenuação.

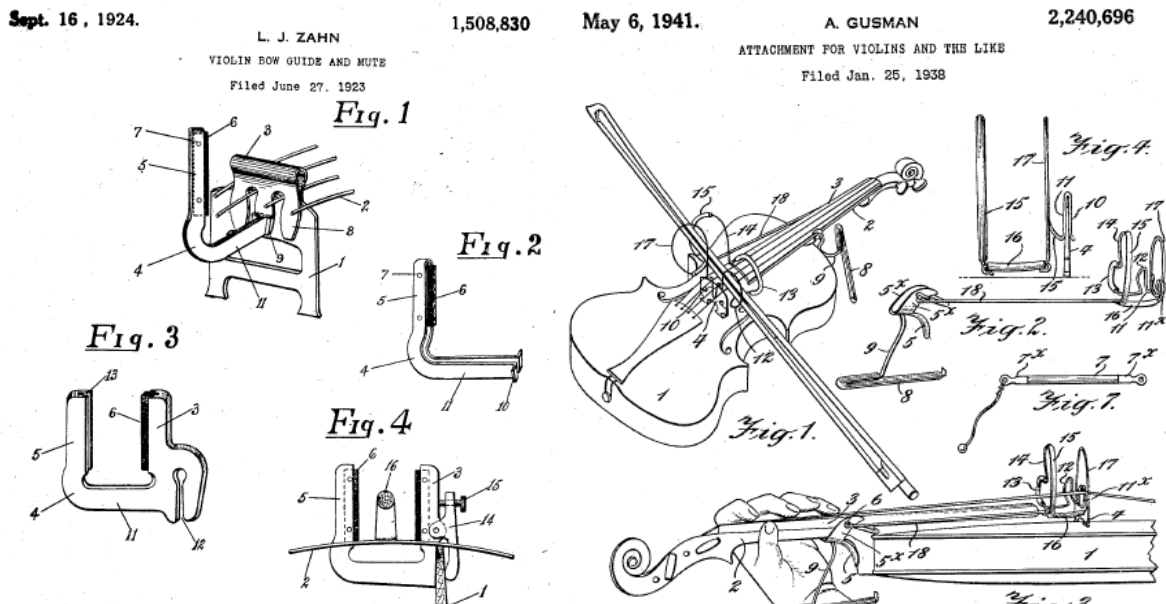
Figura 2.19 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com propostas pouco usuais, da esquerda para a direita de 1924, 1926 e 1977.



(fonte: U.S. Patents n. 1.518.935, 1.599.166 e 4.024.788)

Por outro lado, dispositivos como o apresentado no centro da figura 2.19, que dispõe de um tipo de mecanismo ressonador, desde que efetivamente funcionem, afastam-se da concepção tradicional dos efeitos esperados de uma surdina, quer em termos de atenuação, quer em termos de alteração da sonoridade do instrumento. Da mesma forma, tentativas de agregar outras funcionalidades à concepção original das surdinas, como mecanismo de guia para arco, para estudo de iniciantes, como os mostrados na figura 2.20, acoplados diretamente ao cavalete por mecanismo de encaixe de surdinas, descaracterizam completamente a proposta original do dispositivo, embora, efetivamente, pela simples massa acrescentada ao cavalete, devam produzir, de fato, o efeito de uma surdina, pelo menos, de atenuação.

Figura 2.20 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdina com guia para estudo de arco acopladas nas mesmas, da esquerda para a direita de 1941 e 1924.

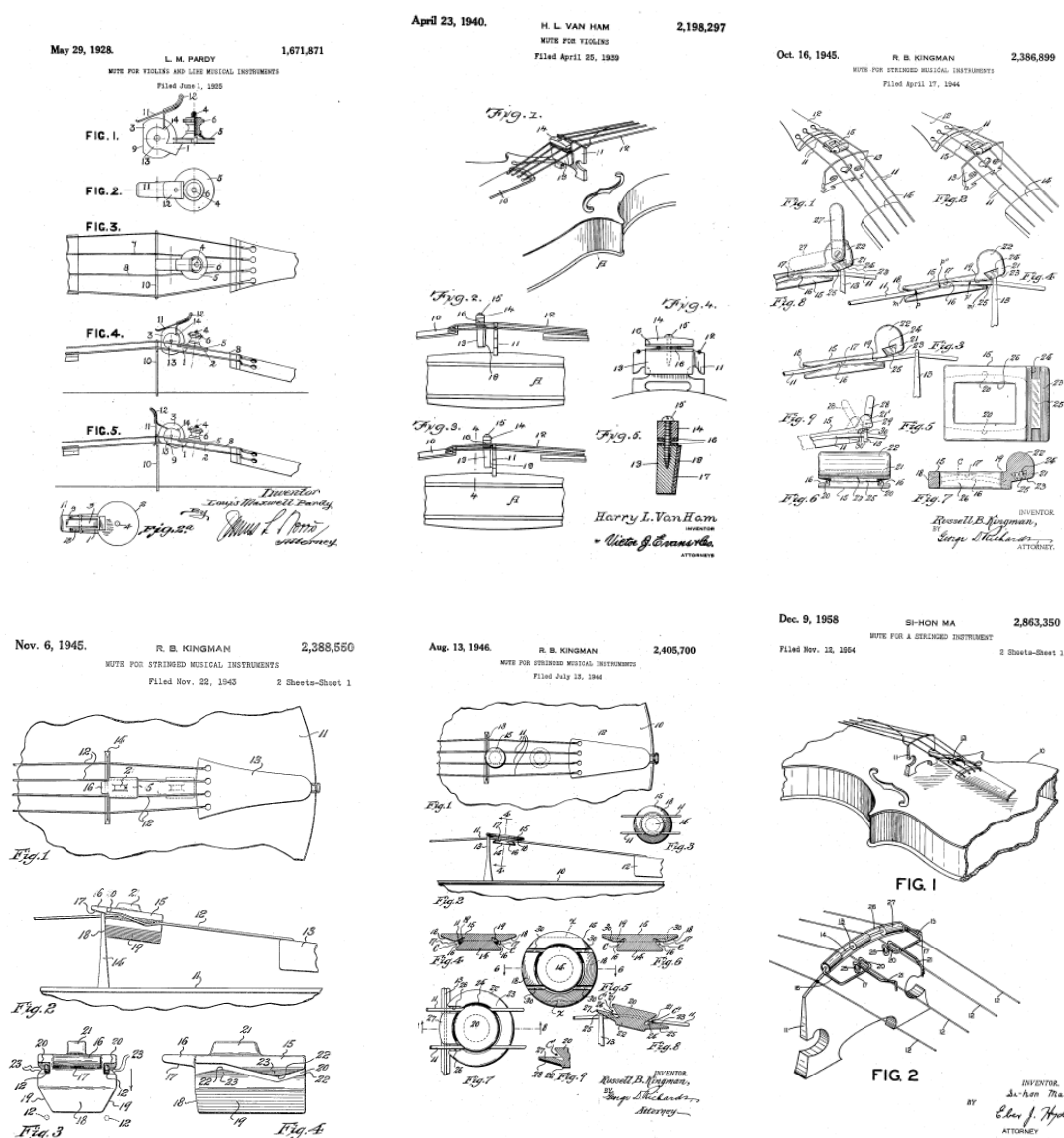


(fonte: U.S. Patents n. 1.508.830 e 2. 240.696)

Percebe-se que a questão da praticidade sempre foi uma das preocupações primordiais no desenvolvimento dos dispositivos, havendo grande quantidade de patentes que descrevem diferentes posições de repouso para os dispositivos, quando não acionados, seja nas cordas ou por outros meios de encaixe (Fig. 2.21).

Outra linha de desenvolvimento que pode ser seguida pela sucessão das patentes é a das surdinas fixadas às cordas¹³⁰, caracterizadas por não serem fixadas sobre o cavalete diretamente, mas, apenas tocando algum ponto do mesmo, ficando fixas, na verdade, às cordas. Esse tipo de surdina tem como mote principal a praticidade de uso, pois, permitiriam uma colocação e retirada do dispositivo muito rápida, sendo, porém, necessário equilibrar essa vantagem com a diminuição de seus efeitos, provocada pelo tipo de acoplamento. Na figura 2.23 alguns dos designs propostos para esse tipo de surdina cujas patentes foram localizadas.

Figura 2.23 – Fac-símile de exemplos de patentes de surdinas fixadas às cordas, da esquerda para a direita, de 1928, 1940, 1945, 1946 e 1958.



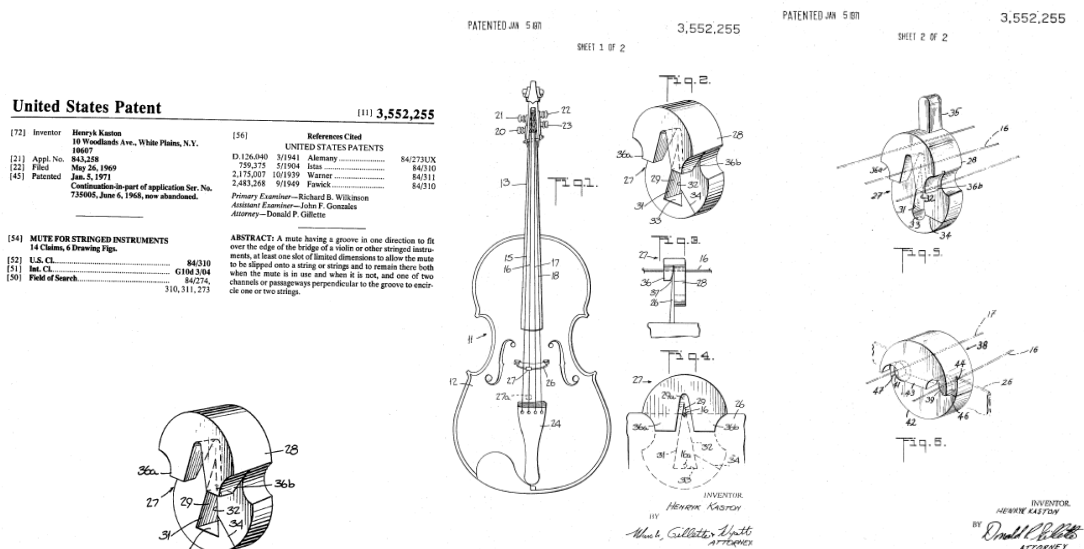
(fonte: U.S. Patents n. 1.671.871, 2.198.297, 2.386.899, 2.388.550, 2.405.700 e 2.863.350)

¹³⁰ Vide subseções 2.1.2 e 3.2.2.

O primeiro dispositivo da parte inferior da segunda fileira de desenhos da figura 2.23 possui um design bastante próximo ao da surdina Spector (subseção 3.2.2.2), amostrada na presente pesquisa, assim com o último dispositivo dessa mesma fileira é a patente original da surdina denominada tubular Sihon (subseção 3.2.2.1), que tem uso bastante difundido entre músicos de orquestra, possuindo versões para os demais instrumentos de arco modernos.

Outra patente relevante localizada é a das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente (Fig. 2.24), de 1969. Conhecidas como *tourte*, provavelmente é o dispositivo mais popular, atualmente, entre os instrumentistas de cordas, devido à sua grande praticidade de uso; é fabricada, também, em versões para os outros instrumentos da família do violino e o contrabaixo acústico, com igualmente boa aceitação por parte dos instrumentistas, sobretudo da versão com dois furos.

Figura 2.24 – Fac-símile da patente das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente, de 1969.



(fonte: U.S. Patent n. 3.552.255)

Pode-se observar, também, um claro desenvolvimento na compreensão do funcionamento das surdinas nos registros de patentes, que, aos poucos, começam a incorporar na descrição dos dispositivos explicações científicas, como se pode observar nesse trecho da descrição da mais recente patente encontrada no levantamento, de 2020:

Bowed stringed musical instruments, such as violins, violas, cellos, and basses produce musical tones when the strings of the instrument are caused to vibrate or oscillate, such as by plucking or drawing a bow across the strings. The tone of an instrument is, on any given note, the summation of the pitch and overtones (frequencies) produced by the instrument, and the level of audible tone is the volume of the instrument, which is commonly measured in decibels. Tone and volume combine to create the tonal character unique to each musical instrument. Instruments have distinctive tonal qualities derived from a combination of physical parameters of the instrument and the way it is played by the musician. There are circumstances wherein musicians seek to alter the volume, the color of tone, or both the volume and the tone produced by the instrument by use of what is referred to as a mute. (...) To achieve these aforementioned effects, a mute is placed on the bridge of the instrument to dampen the transfer of the string vibration through the bridge. Furthermore, the mass of the mute when placed in contact with the instrument bridge reduces the vibrations of the bridge that are transmitted onto the resonating body of the instrument. Such bridge emplacement mutes function by reducing the transmissive capability of the transmissive column between the strings of the instrument and the resonating chamber (the body) of the instrument, referred to as the instrument bridge¹³¹. (WIESSMEYER; WIESSMEYER, 2020, p. 1)

Apesar dessa melhor caracterização do funcionamento das surdinas, percebe-se que o desenvolvimento de dispositivos que possibilitem montagens e configurações de uso diferentes, o que ampliaria as opções de efeitos possíveis de uma mesma surdina, ainda foi pouco explorado, praticamente se restringido a alguns poucos modelos que sugerem algumas poucas configurações de uso diferentes.

¹³¹ “Instrumentos musicais de cordas friccionadas, como violinos, violas, violoncelos e contrabaixos, produzem notas musicais quando as cordas do instrumento vibram ou oscilam, como ao tocar ou friccionar um arco nas mesmas. O timbre de um instrumento é, para qualquer nota, a soma da fundamental e dos harmônicos (frequências parciais) produzidos pelo instrumento, e a intensidade audível é o volume do instrumento, que é comumente medido em decibéis. Timbre e intensidade se combinam para criar a sonoridade específica de cada instrumento musical. Os instrumentos têm qualidades tonais distintas derivadas de uma combinação de parâmetros físicos do instrumento e da maneira como ele é tocado pelo músico. Há circunstâncias em que os músicos procuram alterar o volume e o timbre, ou tanto o volume quanto o timbre produzido pelo instrumento, usando o que é chamado de surdina. (...) Para obter estes efeitos acima mencionados, uma surdina é colocada no cavalete do instrumento para amortecer a transferência da vibração das cordas através do cavalete. Além disso, a massa da surdina, quando colocada em contato com o cavalete do instrumento, reduz as vibrações do cavalete que são transmitidas para o corpo ressonante do instrumento. Essas surdinas colocadas no cavalete funcionam reduzindo a capacidade de transmissão das vibrações entre as cordas do instrumento e a caixa de ressonância (corpo) do instrumento, feita através do cavalete.” (tradução nossa)

2.4 Questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas

Foi elaborado um questionário para realização de sondagem a respeito do uso de surdinas por instrumentistas de cordas¹³², respondido exclusivamente *online*, tendo como público alvo, em princípio, a comunidade de musicistas profissionais próxima à Escola de Música da UFMG. O formulário encontra-se na íntegra no Apêndice A. O objetivo do mesmo foi reunir alguma informação a respeito da percepção de musicistas em relação às surdinas e às questões levantadas pelo seu uso, procurando ampliar a caracterização das mesmas desenvolvida pela pesquisa.

Ao todo, 45 instrumentistas participaram da sondagem, sendo 25 violinistas, 14 violistas, 5 violoncelistas e um contrabaixista. Dentre os que responderam ao questionário, 27 declararam-se profissionais, 12 estudantes e 6 estudantes e profissionais. O menor tempo de prática com o instrumento relatado foi de quatro anos, e o maior de 55 anos, sendo que 28 dos respondentes declararam até 25 anos de prática e 17 mais do que isso.

Foram citados como locais de prática e/ou trabalho: Academia Orquestra Ouro Preto, Conservatorio Superior del Liceu (Barcelona, Espanha), Fundação Clóvis Salgado, Orquestra Sinfônica de Betim, Orquestra de Câmara Inhotim, Orquestra Filarmônica de Minas Gerais, Orquestra Sesiminas, Orquestra Sinfônica de Minas Gerais, Orquestra Sinfônica da Polícia Militar de Minas Gerais, Orquestra Sinfônica do Theatro Municipal de São Paulo, SESC, EMESP Tom Jobim (Escola de Música do Estado de São Paulo), UEM (Universidade Estadual de Maringá), UFSJ (Universidade federal de São João del Rei), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), USP (Universidade de São Paulo), UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

A seguir, os principais resultados da sondagem são relacionados¹³³. Inicialmente foi levantado o uso de surdinas de estudo (abafadores), como se vê nos gráficos da figura 2.25:

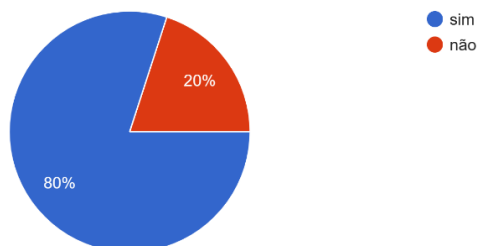
¹³² O questionário foi elaborado e distribuído por meio do Google Forms (aplicativo de gerenciamento de pesquisas *online* da Google).

¹³³ Os números das questões são relativos à ordem em que aparecem no formulário *online*.

Figura 2.25 – Gráficos com as respostas a respeito da utilização de surdinas de estudo (abafadores) do questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas.

6. Você utiliza surdina de estudo (abafador)?

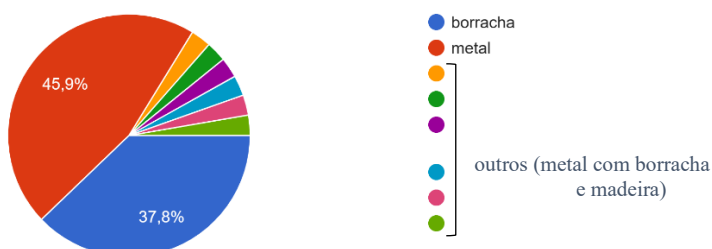
45 respostas



(a)

Se sim, o abafador é feito de:

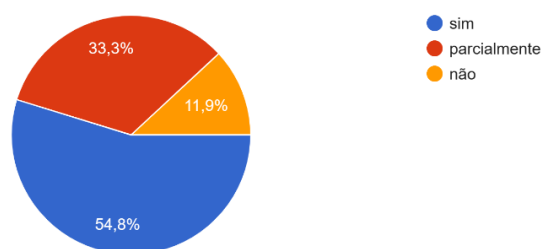
37 respostas



(b)

Considera o efeito de atenuação da sonoridade obtido com o abafador satisfatório?

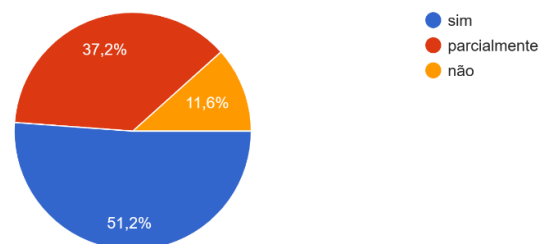
42 respostas



(c)

Considera que o abafador descaracteriza excessivamente a sonoridade do instrumento?

43 respostas



(d)

(fonte: imagem própria)

Como descrito no primeiro gráfico (Fig. 2.25a), a grande maioria dos participantes (36, do total de 45) declarou utilizar abafadores em sua rotina de estudos. A maioria dos que os utilizam preferem dispositivos feitos de metal (46%), seguidos pelos que utilizam abafadores feitos de borracha (38%), com alguns dos instrumentistas relacionando dispositivos feitos de outros materiais (Fig. 2.25b). Do ponto de vista da atenuação a preferência é condizente com o que se observa com a utilização desse tipo de surdina, já que os abafadores de metal são bem mais eficientes nesse quesito do que os de borracha, refletindo-se nas respostas apresentadas no terceiro gráfico (Fig. 2.25c), onde a maioria dos participantes declarou-se satisfeito com o resultado de redução de intensidade proporcionado pelo uso dos abafadores (55% e ainda 33% que se declararam parcialmente satisfeitos nesse ponto). Já quando inqueridos a respeito da descaracterização da sonoridade do instrumento, produzida por esse tipo de surdina, a grande maioria dos participantes considerou correta a afirmação: 51% responderam que sim, mais 37% que consideraram que os abafadores “descaracterizam a sonoridade do instrumento” parcialmente (Fig. 2.25d).

Em relação ao uso, no geral, dos abafadores, alguns dos participantes fizeram observações em espaço próprio do formulário:

“Desaconselho totalmente o uso sistemático de surdinas durante o estudo. Deve ser utilizada apenas em casos específicos, como num hotel em viagem, por exemplo. Enquanto performance de obra que indique a necessidade de utilizá-la, o estudo do trecho deve ser realizado com surdina.”

“Em casa, a de metal corta bastante o som, e impossibilita estudo com dinâmicas e até mesmo sinto influenciar na percepção de afinação.”

“Com relação aos abafadores, sim, sempre que tive que utilizá-los me incomodei com a redução da qualidade do som do violino. Além disso, sentia que o instrumento estava estruturalmente diferente; sentia que eu precisava me adaptar ao instrumento, razão pela qual eu preferia não estudar a estudar com um abafador.”

“(…) uso o abafador para estudar, notei uma diferença grande entre o de metal e o de borracha, acredito que o de borracha permite um timbre abafado mais próximo ao natural do instrumento, já o de metal deixa o som estridente e tira a característica do timbre original do instrumento, muitas vezes em minha opinião, dificultando o estudo, pois sem o abafador de metal o instrumento soa muito diferente. Já com o de borracha é possível aplicar melhor as dinâmicas e interpretações, é quase como se só diminuísse o volume de som do instrumento, porém deixando mais doce.”

“O que mais me incomoda em surdinas de estudo feitas de METAL é a mudança da afinação, o que pode prejudicar a técnica da mão esquerda. Evito estudar com elas por esse motivo.”

(comentários feitos por cinco diferentes participantes do “Questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas”)

Além da descaracterização da sonoridade, preocupações relacionadas à correta diferenciação do contorno dinâmico proposto originalmente para as obras e, mesmo, alterações na percepção da afinação (questão particularmente sensível em instrumentos não temperados como as cordas modernas), estão presentes nos comentários dos participantes. O primeiro comentário está em perfeita sintonia com observação feita por Carl Flesch em seu tratado acerca da prática com o instrumento¹³⁴, no qual desaconselha o estudo sistemático com abafadores, embora esse participante haja, ainda, observado a pertinência de se praticar com a surdina quando o trecho em questão vá empregar, de fato, o recurso na performance, o que faz bastante sentido, já que é interessante que o instrumentista estude tendo como parâmetro o resultado sonoro que de fato entregará na apresentação.

Perguntados se experimentaram mais de um tipo de surdina antes de adquirir as que utilizam, a maioria dos participantes (58%) respondeu que sim, tendo sido o principal critério de escolha, dentre as opções apresentadas, “sonoridade obtida”, seguido, em ordem decrescente de escolha dos participantes, por “disponibilidade para compra”, “indicação de terceiros”, “praticidade de uso” e “valor”.

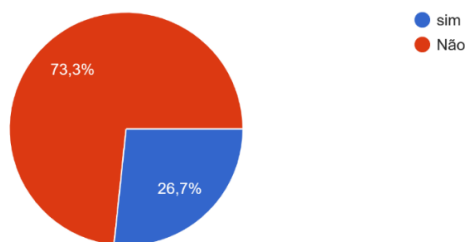
A respeito da utilização de surdinas de performance as respostas dos participantes são apresentadas em quatro gráficos (Fig. 2.26). Perguntados se utilizam mais de um tipo de surdina para performance, a maioria (73%) respondeu que não (Fig. 2.26a), o que gera um contraste interessante com as respostas à pergunta “Você considera que um único tipo de surdina é adequado para todo o repertório de seu instrumento?” (Fig. 2.26d), para a qual a maioria dos participantes respondeu “não” (64%). A aparente contradição indica o potencial ainda pouco explorado do recurso. Dentre os que disseram utilizar mais de um tipo de surdina (20 participantes), entre as alternativas “o repertório a ser executado” e “formação instrumental com a qual será realizada a performance”, 65% optou pela primeira, 25% pela segunda, como principal critério para a escolha das surdinas, com, ainda, um participante assinalando a relevância das duas alternativas e um outro considerando a sonoridade obtida com o dispositivo como o principal critério para a escolha (Fig. 2.26b).

¹³⁴ Vide seção 2.1.3, p. 94.

Figura 2.26 – Gráficos com as respostas a respeito da utilização de surdinas de performance do questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas.

9. Você utiliza mais de uma surdina para performance?

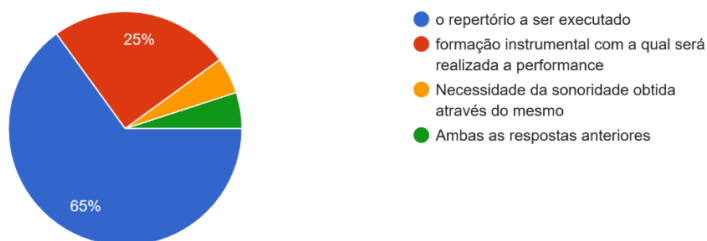
45 respostas



(a)

Se sim, qual o principal critério para a escolha?

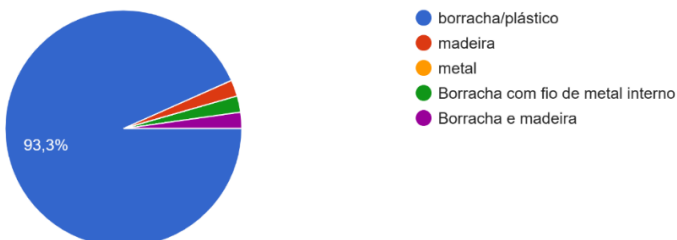
20 respostas



(b)

10. De qual material é feita a surdina de performance que você mais utiliza?

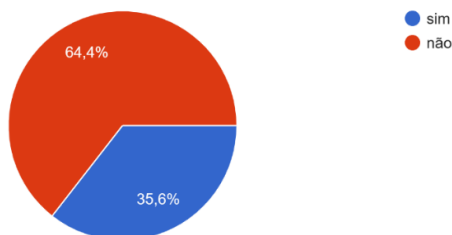
45 respostas



(c)

11. Você considera que um único tipo de surdina é adequado para todo o repertório de seu instrumento?

45 respostas



(d)

(fonte: imagem própria)

Quanto à natureza da “surdina principal” utilizada pelos participantes, a imensa maioria (93%) optou pela alternativa “borracha/plástico” como material de confecção (Fig. 2.26c), em concordância com o que pode ser amplamente observado na prática das orquestras. Embora não se tenha pedido maior caracterização a respeito da surdina utilizada, é notória a preferência entre os instrumentistas de cordas, dos quatro naipes, pelas surdinas de borracha circulares de dois furos, conhecidas como tipo *tourte*¹³⁵. De uso muito prático, esses dispositivos funcionam bem nos três membros da família do violino e também no contrabaixo acústico, além de contarem com variações do mesmo estilo, como a surdina de borracha com um furo¹³⁶, que fica presa a uma única corda quando em repouso. Além de baratas, essas surdinas possuem um efeito discreto que atende bem às demandas do repertório sinfônico, sendo tratadas como dispositivos de uso geral.

Em relação à escolha das surdinas e seu uso, alguns participantes fizeram comentários em campo próprio do formulário, indicando diferentes graus de conhecimento e problematização do uso do dispositivo:

“Cada tipo de repertório requer um tipo de sonoridade, logo, um tipo de surdina quando for o caso.”

“A única exceção é quando o compositor pede uma surdina específica, como por exemplo a Sequenza de Luciano Berio, que pede num dado momento surdina de metal.”

“Possuo várias surdinas de materiais e densidades diferentes. Utilizo cada uma de acordo com a sonoridade produzida para respeitar o estilo de cada repertório. Surdinas tem ressonâncias distintas de acordo com o material do qual são feitas e sua densidade. As surdinas de osso, chifre e madeira eram as únicas utilizadas até a produção da borracha, metal e plástico serem inventadas. A sonoridade do osso ou chifre é bastante brilhante e possui mais harmônicos que outros materiais. De acordo com a época de cada compositor, tento utilizar surdinas compatíveis com a sonoridade existente na época da composição para tentar me aproximar da sonoridade pensada pelo compositor.”

“Acho que a escolha da surdina depende das condições acústicas do local de performance e das características estéticas da música.

Imagino que um violinista solista deva ter cuidado com relação à escolha da surdina. Afinal, o som dele é isolado dos outros sons. Como professor, eu estimulo meus alunos à observação e ao cuidado com o timbre do material que está sendo estudado. Como músico de orquestra, entretanto, confesso que a praticidade leva vantagem sobre as relações de timbre e acústica. Eu tenho uma única surdina, que escolhi com base na qualidade sonora e na praticidade de uso.”

“Ainda não vi exigências timbrísticas com relação a surdina em orquestra, até então, usamos a que temos, e parece que independente do modelo, o importante é apenas ter, e até hoje não vi alguém ter uma observação mais profunda com relação aos diferentes modelos e timbres, mas é uma ideia interessante.”

¹³⁵ Vide seção 3.2.1.2 *Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)*, p. 149.

¹³⁶ Vide seção 3.2.1.1 *Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)*, p. 148.

“Acho possível usar diferentes abafadores no repertório contemporâneo, mas nunca tive essa necessidade.”

“Isto pode variar com a qualidade e resposta sonora do instrumento.”

“Além da sonoridade que me agrada, a surdina de borracha fica encaixada no instrumento, o que é mais prático”

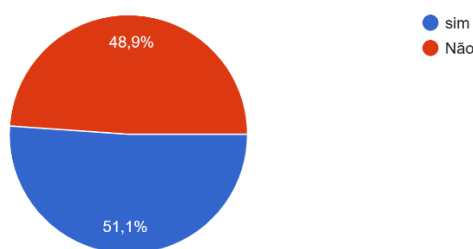
“Para orquestra é preciso uma surdina de rápida colocação e retirada, como as de borracha. Para música de câmara, quando há somente um instrumento de cordas friccionadas como uma sonata, é interessante a surdina de madeira, que possui uma sonoridade melhor.”

(comentários feitos por nove diferentes participantes do “Questionário de sondagem de uso de surdinas por instrumentistas de cordas”)

Figura 2.27 – Gráficos com as respostas a respeito da discussão acerca de surdinas entre grupos de performance musical.

12. Você já discutiu com os outros membros dos conjuntos com os quais toca a respeito de surdinas?

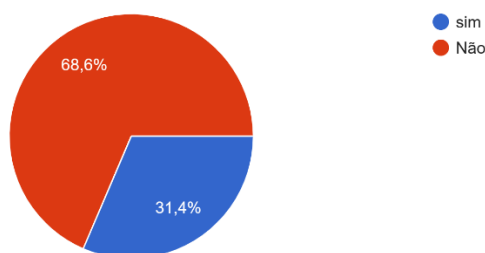
45 respostas



(a)

Se sim, já houve alguma ocasião em que o grupo deliberou pela utilização de um mesmo tipo de surdina para todo o conjunto?

35 respostas



(b)

Por fim, nos gráficos mostrados na figura 2.27, são apresentadas as respostas dos participantes a respeito da discussão coletiva entre membros de conjuntos musicais acerca de surdinas. Embora pouco mais da metade dos participantes (51%) tenha declarado já haver discutido com outros membros dos grupos musicais dos quais participaram a respeito de surdinas (Fig. 2.27a), apenas 31% dos 35 participantes que responderam à segunda parte da

pergunta 17 (Fig. 2.27b), declararam já haver sido deliberado pelo grupo a utilização de um determinado tipo de surdina. Nesse grupo, dentre as opções de formação instrumental apresentadas, em que houve definição acerca de surdinas, “quarteto de cordas”, foi a mais indicada, seguida, em ordem decrescente de escolha dos participantes, por “orquestra de câmara” e “orquestra sinfônica”, além de duas formações especificadas, respectivamente, por dois participantes diferentes: “Trio com piano, violino e cello” e “quarteto de contrabaixos”. Parece, num primeiro momento, fazer sentido que esse tipo de preocupação encontre mais espaço para se manifestar na música de câmara, onde é mais simples haver discussão e deliberação sobre o assunto, além de uma exigência maior pela qualidade dos instrumentos isoladamente, já que formações menores não contam com a cobertura gerada pelos naipes com numerosos integrantes das grandes orquestras sinfônicas.

No geral, o resultado dessa sondagem, limitada a poucos participantes, apresentado aqui apenas em caráter ilustrativo da percepção de instrumentistas de cordas acerca do recurso, corroborou a impressão de que a discussão a respeito do assunto é deficitária, detectada já pela revisão bibliográfica realizada. Tanto as questões levantadas pela prática com surdinas de estudo, quanto a maior ou menor percepção das possibilidades de uso não exploradas usualmente na performance, indicam um grande potencial para que se desenvolva uma prática com os dispositivos muito mais elaborada do que a que correntemente é explorada. Nos comentários dos participantes, seja dos que demonstraram maior conhecimento do assunto, ou dos que se mostraram mais restritos aos aspectos pragmáticos da prática com surdinas, ficou evidente que o convívio com as mesmas é cotidiano em suas vivências musicais, justificando amplamente um melhor entendimento do funcionamento dos dispositivos e de uma maior conscientização acerca de suas possibilidades de uso.

2.5 Resumo Crítico

Com base nas informações relacionadas nas subseções anteriores, é possível estabelecer algumas conclusões a respeito do atual entendimento acerca das surdinas de violino:

- o emprego em performance de surdinas para instrumentos de cordas iniciou-se em fins do século XVII, havendo registro de partituras que solicitam seu uso a partir de 1681 (BOYDEN, 1990; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017);

- inicialmente, o recurso visava basicamente a redução da intensidade do som dos instrumentos nos quais eram utilizadas (LOUGHRIDGE, 2016, 2021);
- nessa fase os dispositivos eram feitos geralmente de metal (AHRENS, 2007; LOUGHRIDGE, 2016);
- a partir da segunda metade do século XVIII, junto à nova concepção do papel do timbre no discurso e na prática musical europeia, o emprego de surdinas passa, gradativamente, a ser entendido como um recurso para variação do timbre do instrumento (LOUGHRIDGE, 2016, 2021);
- a nova concepção de uso das surdinas levou à adoção de dispositivos preferencialmente feitos de madeira (ou outros materiais mais leves, como osso e couro) ao longo do séc. XIX, só perdendo a preferência dos fabricantes já no séc. XX, quando novos materiais como borracha, plástico e outros compostos sintéticos passaram a estar disponíveis (BERLIOZ, 1844; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH, 2017);
- é consenso entre os estudos relacionados que abordaram o funcionamento acústico do dispositivo, que o efeito das surdinas é, principalmente, resultado da adição de massa ao cavalete, o que altera o funcionamento vibratório original da peça, essencial para as características sonoras do violino, sendo sua ação física descrita, principalmente, em dois aspectos:
 - altera o primeiro modo de ressonância do cavalete do violino, localizado originalmente por volta dos 3.000 Hz, abaixando essa frequência de ressonância, proporcionalmente à massa adicionada (GILTAY, HAAS, 1909; RAMAN, 1916, 1917, 1918, 1920; CREMER, 1984; GOUGH, 2000, 2016; WOODHOUSE, 2005, 2014; BISSINGER, 2006; FLETCHER; ROSSING, 2012; ELIE, GAUTIER, DAVID, 2014);
 - altera, por meio do acoplamento acústico do cavalete com o tampo do instrumento, o segundo modo de ressonância do mesmo, localizado por volta de 400 Hz (conhecido como C₂ ou T₁), que é igualmente abaixado, o que estaria diretamente relacionado à transferência de energia para as frequências espectrais mais baixas (RAMAN, 1916, 1917, 1918, 1920; MEYER, 2009);
- essas alterações no funcionamento acústico do instrumento modificam o espectro harmônico do violino, deslocando, geralmente, energia espectral para frequências mais baixas, com alguns efeitos característicos:

- nas notas graves (até por volta do Ré3) há reforço da fundamental (e/ou dos harmônicos inferiores) em detrimento das parciais mais agudas (EDWARDS, 1911; RAMAN, 1920; MEYER, 2009);
- nas notas médias e agudas há um decréscimo de energia mais proporcional em todo o espectro (EDWARDS, 1911; MEYER, 2009);
- ocorre sempre, mesmo com surdinas leves, alguma perda de energia espectral na faixa de frequências conhecida como *bridge hill* (entre 2.000 e 3.500), geralmente, de maneira significativa, podendo esse efeito ser associado diretamente à mudança da primeira ressonância do cavalete, com forte impacto no timbre do instrumento (EDWARDS, 1911; JANSSON; SUNDBERG, 1975; CREMER, 1984; WOODHOUSE, 2005, 2014; BISSINGER, 2006; MEYER, 2009; FLETCHER; ROSSING, 2012; HARTMANN, 2013; HELLER, 2013; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; MOUSAVION; SARKAR, 2015);
- até o fim do séc. XX houve pouca pesquisa especificamente sobre as surdinas, estando a existente associada a seu impacto no funcionamento do cavalete, e à descrição das alterações espectrais provocadas na sonoridade original do violino com o uso da mesma;
- nas explicações acerca do funcionamento do dispositivo, oriundas de estudos sobre outros tópicos, além do peso (massa acrescentada), há pouca informação acerca da relação das outras características físicas dos dispositivos, como material de fabricação, formato e natureza do acoplamento com o cavalete (ponto e área de contato com o cavalete e força exercida sobre a peça pelos mecanismos de encaixe); considerando, inclusive, outras informações a respeito do impacto de alterações no próprio cavalete em seu funcionamento (como mudanças na rigidez do mesmo), tudo leva a crer que os outros aspectos físicos das surdinas podem ter um grande peso na natureza dos efeitos produzidos na sonoridade original do instrumento: por exemplo, grande força exercida no topo do cavalete, pela pressão do encaixe da surdina na peça, pode alterar significativamente a vibração da mesma, tanto ou mais do que a massa acrescentada; o material e o formato podem, por meio do acoplamento com o sistema, gerar modos de vibração próprios, ao serem excitados pela vibração das cordas, gerando ressonâncias específicas no próprio corpo da surdina;
- a partir da virada para o século XXI, parece haver um novo interesse no estudo das surdinas de violino em si (KISHI, 1998; AHRENS, 2007; TAJIMI ET AL., 2011; MOUSAVION; SARKAR, 2015; LOUGHRIDGE, 2016; SARCH 2017), tanto do

ponto de vista histórico-musicológico, quanto da análise do funcionamento acústico e efeito provocado pelos dispositivos na sonoridade original do instrumento;

- dentre as lacunas observadas nos resultados até o momento divulgados, nenhum estudo localizado relata o efeito produzido pelos abafadores pesados (surdinhas de estudo com mais de 30 gramas de peso, no caso do violino) no espectro harmônico;
- da mesma forma, os efeitos na alteração da intensidade descritos são demasiado genéricos, não havendo maior detalhamento a respeito da ação das surdinhas nesse quesito nos diferentes registros do instrumento e, mesmo, em notas isoladas; resultados obtidos ao longo da presente pesquisa já demonstraram grande variabilidade de resposta em diferentes alturas (inclusive com aumento da intensidade em relação à sonoridade original do instrumento em notas isoladas), claramente relacionadas, para além do peso, às propriedades físicas distintas das surdinhas (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, 2020, 2022);
- o desenvolvimento das potencialidades de uso do recurso na prática da música de concerto atual depende de uma maior consciência, por parte dos agentes envolvidos na produção da mesma (de luthiers a compositores, passando por intérpretes e pesquisadores), da grande variedade de efeitos acústicos possíveis de serem obtidos de forma controlada com surdinhas diferentes e por uma maior elaboração de seu uso coletivo.

PARTE II – ANÁLISE DOS EFEITOS ACÚSTICOS DAS SURDINAS

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesse capítulo será apresentada a metodologia de pesquisa empregada no desenvolvimento do trabalho. Inicialmente são descritos os dois violinos utilizados para a coleta das amostras e as quatorze surdinas originais analisadas, seguidas da exposição das estratégias adotadas para a realização de prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas, que visam isolar a influência dos diferentes fatores de construção dos dispositivos em seus efeitos. Na sequência, são descritos todos os procedimentos empregados na amostragem, incluída a definição da extensão analisada, o protocolo para execução instrumental e os critérios adotados para a mesma, os procedimentos para gravação, bem como os equipamentos utilizados nos registros, e, ao fim da subseção, o formato final e número das amostras de áudio coletadas. Em seguida, são enumerados os descritores acústicos e psicoacústico utilizados nas análises, seus parâmetros e forma de emprego. Por fim, são apresentados os procedimentos aplicados no processamento dos dados coletados para obtenção dos resultados gerais dos diferentes takes de cada condição de estudo.

3.1 Violinos utilizados na pesquisa

Foram utilizados dois violinos para a coleta de dados, tendo sido replicada, com cada um dos instrumentos, toda a amostragem:

- violino um (vln1): instrumento de qualidade superior, para uso profissional, feito integralmente de forma artesanal por *luthier* qualificado, empregando em sua construção somente madeiras de primeira qualidade devidamente tratadas¹³⁷, verniz específico e acabamento diferenciado; fabricado em Belo Horizonte, no ano de 2017, por Getúlio Lima;
- violino dois (vln2): instrumento artesanal (ou semiartesanal) de origem e autor desconhecidos, provavelmente alemão, de fins do século XIX. Instrumento mais antigo, apresenta madeiras adequadas em seus vários componentes¹³⁸, sendo recoberto por verniz igualmente apropriado. Apresenta ligeira variação em suas medidas, sendo um

¹³⁷ Vide seção 1.3.

¹³⁸ Vide seção 1.3.

pouco menor do que a média do padrão adotado atualmente (questão de milímetros), podendo ser considerado um bom instrumento para estudantes, médios ou avançados, e, também, para uso profissional mais restrito. Foi um dos instrumentos utilizados na pesquisa de mestrado (onde também foi indexado como o vln2) e nas amostragens realizadas ao longo do doutorado para o desenvolvimento do projeto de pesquisa e para os trabalhos relatados nos artigos¹³⁹ produzidos nesse período.

3.2 Surdinas originais analisadas na pesquisa

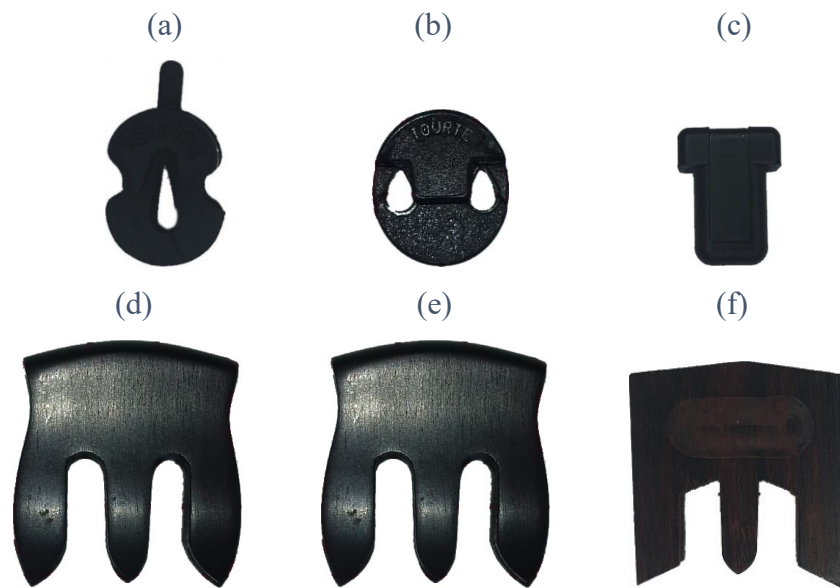
Nessa seção são listadas as 14 surdinas originais que foram analisadas na pesquisa. São nove surdinas concebidas, em princípio, para uso em performance, subdivididas em dois grupos, fixadas ao cavalete e fixadas às cordas, e cinco surdinas de estudo (abafadores). Todas são comercializadas atualmente, seja em lojas físicas especializadas ou pelo comércio *online*. Todos os exemplares aqui analisados foram adquiridos especificamente para a pesquisa. Nenhum dos dispositivos veio acompanhado de algum tipo de material explicativo acerca de seu funcionamento, seja explicitando os efeitos que produzem, seja indicando diferentes possibilidades de uso. Será feita uma breve descrição de cada dispositivo, acompanhada de imagens e eventuais comentários.

3.2.1 *Surdinas de performance fixadas ao cavalete*

Esse tipo de dispositivo é encaixado diretamente sobre o cavalete, transferindo integralmente sua massa para o sistema de transmissão de energia do mesmo. Foram selecionadas seis surdinas dessa categoria, buscando-se uma ampla representatividade dentre os produtos disponíveis no mercado especializado (Fig. 3.1).

¹³⁹ *Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na intensidade sonora de seis violinos*, de 2020; *Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na LTAS de seis violinos*, de 2020; *Emprego de síntese por modelagem espectral para análise comparativa do residual não harmônico na sonoridade do violino com o uso de diferentes surdinas*, de 2021 e *Analysis of the influence of different construction factors of violin mutes on their effects: a methodological prospection based on the controlled variation of physical characteristics of the devices*, de 2022.

Figura 3.1 – Surdinas de performance fixadas ao cavalete (tamanho real)



(fonte: imagem própria)

3.2.1.1 *Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)*¹⁴⁰

Surdina de borracha macia com um furo e um dente bipartido (Fig. 3.1a, 3.2a e 3.2b), tem como principal diferencial poder ser usada em cada corda separadamente (quatro posições de uso portanto), embora essa característica seja pouco explorada pelos instrumentistas, que tendem a empregá-la somente nas cordas centrais. Possui um sistema de acoplamento que permite ficar em repouso, presa à corda na qual está sendo utilizada, entre o cavalete e o estandarte, quando fora de uso (Fig. 3.2a); embora o sistema seja prático, o encaixe no cavalete requer atenção, pois, seu dente é muito pequeno e bipartido, para permitir a passagem da corda.

Figura 3.2 – Surdina de borracha com um furo e um dente acoplada na corda Ré, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b).



(a)

(b)

(fonte: imagem própria)

¹⁴⁰ Patente similar à dessa surdina foi localizada, embora sem a marca *tourte*, U.S. Patent n. 3.552.255, de 1971 (Anexo A).

Características físicas:

- material de construção: borracha flexível;
- medidas¹⁴¹: 1,6 cm x 2,6 cm x 0,8 cm;
- peso: 1,92 gramas;

3.2.1.2 *Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)*

Surdina de formato circular, feita com borracha, com dois furos e um dente inteiriço¹⁴² (Fig. 3.1b, 3.3a e 3.3b), pode ser fixada entre cada par de cordas (três posições de uso), embora, seja utilizada, geralmente, apenas na posição central. Dentre todos os dispositivos para performance analisados é o mais utilizado atualmente, como já comentado, sendo bastante popular nos naipes de cordas das orquestras. Possui versões para os demais instrumentos de cordas, variando, basicamente, o tamanho e o peso, embora as de violoncelo e, principalmente, contrabaixo, geralmente sejam feitas com material um pouco mais rígido. Os dois furos laterais permitem a fixação do dispositivo às duas cordas entre as quais será inserido seu dente no cavalete, e, quando em repouso, fica suspensa pelas cordas entre o cavalete e o estandarte (Fig.3.3a), sendo de fácil colocação e remoção, motivo provável de sua grande aceitação pelos instrumentistas. Produz um efeito relativamente suave, principalmente em termos de atenuação (sobretudo nas cordas graves) alterando o timbre de maneira igualmente leve, embora nítida.

Figura 3.3 – Surdina de borracha com dois furos e um dente, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b).



(fonte: imagem própria)

¹⁴¹ As dimensões apresentadas são sempre, considerando-se o dispositivo em posição de uso, do comprimento em relação ao cavalete, da altura e da largura, sendo essa última o maior valor, quando a surdina tiver seções com diferentes tamanhos.

¹⁴² Foi a mesma utilizada na amostragem do mestrado (surd1).

Características físicas:

- material de construção: borracha flexível;
- medidas: 1,9 cm (diâmetro) x 0,8 cm;
- Peso: 1,85 gramas;

3.2.1.3 *Surdina Heifetz (sdHfz)*

Surdina citada anteriormente, tendo sido desenvolvida sob demanda de Jascha Heifetz para execução de solos para os quais o compositor indica o uso de surdina (seção 2.1.2). Confeccionada com um grampo de metal revestido de borracha, com um único dente (Fig. 3.1c e 3.4), pode ser fixada entre cada par de cordas (três posições de uso), além de poder cobrir mais ou menos o cavalete com seu dente único, de acordo com o tanto que é inserida no mesmo, possibilitando outras configurações de uso. Destaca-se por exercer grande pressão sobre o cavalete, por meio do grampo metálico interno que entra bem justo no topo do mesmo. Embora seja pequena e leve produz um efeito relativamente forte, gerando um timbre bastante característico. Porém, devido à dificuldade para colocação e retirada do dispositivo, devido à grande pressão exercida pelo mesmo, além de não ter mecanismo eficiente para descanso no instrumento quando fora de uso, raramente é utilizada por instrumentistas de orquestra.

Figura 3.4 – Surdina Heifetz em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: metal revestido de borracha;
- medidas: 1,2 cm x 1,6 cm x 0,9 cm;
- peso: 2,56 gramas;

3.2.1.4 *Surdina de ébano menor com três dentes (sdEbpbq)*

Surdina de ébano com três dentes (Fig. 3.1d e 3.5), representa o modelo “clássico” de surdina de cordas, com seu formato aproximado de garfo, e pode ser considerada, junto às outras surdinas de madeira analisadas, o design mais antigo dentre os dispositivos amostrados. Provavelmente concebida para ser utilizada, em princípio, em uma única posição (com o dente central inserido entre a 2ª e 3ª cordas), pode, porém, ser acoplada ao cavalete em outras posições, desde que um ou dois de seus dentes não entrem em contato com este. Era amplamente adotada pelos instrumentistas de orquestra no século XIX e começo do XX. Porém, pelos padrões atuais, produz um efeito muito forte de atenuação, sendo eventualmente descrita em sites para venda, como um abafador (surdina de estudo), além de produzir uma alteração no timbre muito forte, descrita, por vezes, como demasiado “nasalada”. A partir de meados do séc. XX, frente ao surgimento de novos dispositivos feitos de borracha ou outros materiais sintéticos (com novas propostas de design), perdeu espaço frente aos mesmos para o uso em performance, embora ainda seja, eventualmente, utilizada por instrumentistas de orquestra. Possui também versões para os outros instrumentos de arco, com pequenas variações no formato, alterando principalmente o tamanho e o peso. O modelo menor aqui utilizado é apresentado como sendo para violino¹⁴³. Não possui mecanismos para permanecer acoplada ao instrumento quando em repouso.

Figura 3.5 – Surdina de ébano menor com três dentes em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

¹⁴³ Similar à utilizada na amostragem da pesquisa de mestrado (surd2), apenas um pouco mais pesada (6,44 gramas) do que a utilizada anteriormente (5,70 gramas);

Características físicas:

- material de construção: ébano;
- medidas da pequena: 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- Peso: 6,44 gramas;

3.2.1.5 Surdina de ébano maior com três dentes (sdEbgd)

Surdina de ébano com três dentes (Fig. Fig. 3.1e e 3.6), de características similares à anterior, porém, feita para viola, sendo, portanto, razoavelmente mais pesada do que a de violino. Os dois dispositivos têm dimensões similares, sendo a de viola apenas mais larga, o que a torna ideal para ter os efeitos comparados à de violino, já que o acoplamento com o cavalete é muito similar ao desta, variando apenas o peso.

Figura 3.6 – Surdina de ébano maior com três dentes em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: ébano;
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm x 1,2 cm;
- Peso: 8,38 gramas;

3.2.1.6 *Surdina de madeira leve com três dentes (sdMd)*

Surdina feita com madeira leve, não especificada pelo fabricante, com três dentes (Fig. Fig. 3.1f e 3.7), seria uma alternativa de dispositivo de madeira diferente do ébano, material claramente mais denso do que a madeira utilizada nessa surdina, que pesa pouco mais do que a metade da surdina de ébano para violino. Utilização similar à de ébano, não possui, igualmente, mecanismo de repouso no instrumento quando não está sendo empregada. Seu aspecto lembra dispositivos utilizados no séc. XVIII e XIX, feitos de *boxwood* (*Buxus sempervirens*)¹⁴⁴. Seu efeito é mais leve do que a de ébano, sobretudo quanto à atenuação, embora, a alteração no timbre guarde certa semelhança.

Figura 3.7 – Surdina de madeira leve com três dentes em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

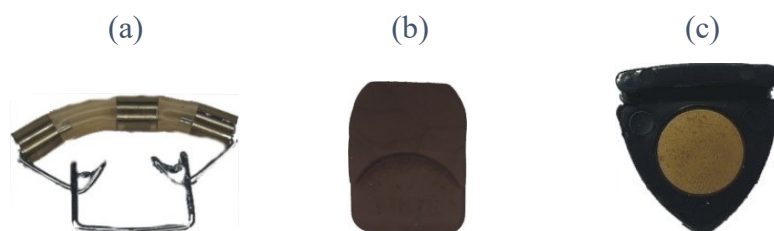
- material de construção: madeira leve;
- medidas: 2,2 cm x 2,2 cm x 1,2 cm;
- peso: 3,30 gramas;

¹⁴⁴ Vide seção 2.1.1.

3.2.2 *Surdinas de performance fixadas às cordas*

Foram selecionados três dispositivos dessa categoria para a pesquisa (Fig. 3.8). Essas surdinas são encaixadas nas cordas do instrumento, valendo-se de mecanismos que pressionam suas extremidades contra a parte superior do cavalete quando acionadas, ou seja, não transferem diretamente sua massa para o sistema representado pelo cavalete e seu acoplamento ao corpo do violino, antes valem-se dessa pressão gerada por seu meio de encaixe com o cavalete para produzirem seus efeitos. Tudo leva a crer que foram desenvolvidas tendo em vista sua funcionalidade de uso como primeiro critério, ou seja, a capacidade de serem acopladas e desacopladas ao cavalete o mais rapidamente possível. Nem sempre, porém, o encaixe rápido é eficiente, podendo haver um deslocamento parcial do dispositivo durante a execução musical, caso não fique bem acoplado, afetando, conseqüentemente, o efeito produzido.

Figura 3.8 – Surdinas de performance fixadas às cordas (tamanho real).



(fonte: imagem própria)

3.2.2.1 *Surdina tubular Sihon (sdCdTb)¹⁴⁵*

Surdina constituída por uma armação de metal à qual é acoplado um tubo plástico levemente curvo, reforçado com anéis metálicos (Fig. 3.8a, 3.9a e 3.9b), que entra em contato com o cavalete quando acionada. É fixada às cordas pela estrutura metálica, com três possibilidades de encaixe entre cada par de cordas, sendo usada, geralmente, na posição central. Desliza por meio dessa estrutura, permanecendo fixada às cordas entre o cavalete e o estandarte quando em repouso (Fig. 3.9a).

Características físicas:

¹⁴⁵ Patente similar à dessa surdina foi localizada, sendo o nome do inventor SI-HON, como é conhecida ainda hoje, U.S. Patent n. 2.863.350, de 1958 (Anexo A).

- material de construção: estrutura de metal cromado e tubo de contato com o cavalete feito de material sintético, com anéis intercalados;
- medidas: 2,7 cm x 1,8 cm x 0,3 cm (diâmetro tubo);
- peso: 1,48 gramas;

Figura 3.9 – Surdina tubular Sihon, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b).



(a)

(fonte: imagem própria)

(b)

3.2.2.2 *Surdina Super Sensitive Spector (sdCdSp)*

Surdina compacta (Fig. 3.8b, 3.10a e 3.10b), fabricada em neoprene¹⁴⁶, com uma pequena protuberância em uma das extremidades que é sobreposta à parte superior do cavalete pressionando o mesmo, quando em posição de uso. Possui dois trilhos laterais por meio dos quais é fixada entre duas cordas, deslizando entre o cavalete e o estandarte, onde fica suspensa quando em repouso (Fig. 3.10a). Projetada por Fred Spector, violinista aposentado da Chicago Symphony, foi lançada inicialmente pela *Super-Sensitive Company* (SARCH, 2017). Pode ser utilizada nos três pares de cordas, sendo a posição mais comum a central.

¹⁴⁶ Tipo de borracha sintética (polímero policloropreno) que possui boa resistência mecânica e térmica, com uma ampla gama de aplicações.

Figura 3.10 – Surdina Super Sensitive Spector, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b).



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: borracha rígida;
- medidas: 1,4 cm x 1,8 cm x 0,9cm;
- peso: 1,45 gramas;

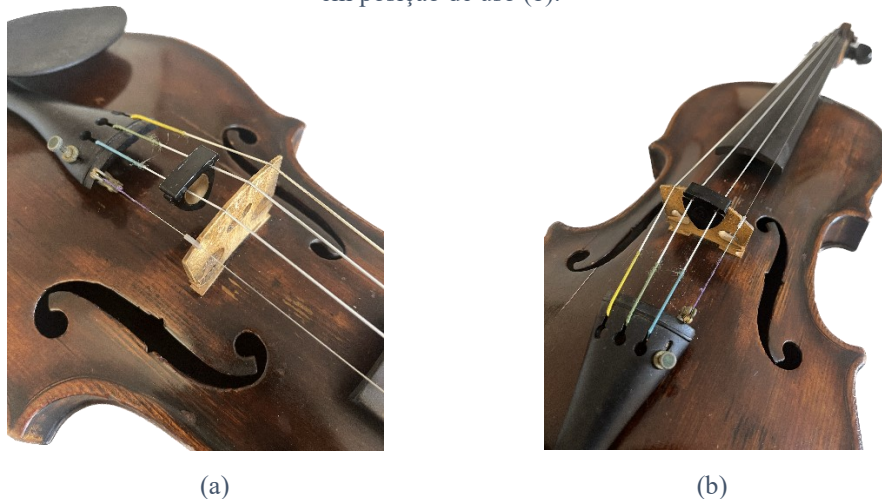
3.2.2.3 *Surdina Alpine (sdCdAp)*

Surdina triangular (Fig. 3.8c, 3.11a e 3.11b) com as extremidades de dois dos vértices sulcadas para permitir o encaixe entre duas cordas do violino. Feita de plástico rígido, com um disco de metal encrustado no centro da peça, que entra em contato com o cavalete quando o dispositivo é acionado. A extremidade da surdina que fica apoiada nas cordas possui uma aba mais larga, que pressiona o topo do cavalete quando passada por cima do mesmo na posição de uso. Quando em repouso, permanece fixa às cordas entre o cavalete e o estandarte (Fig. 3.11a). Apresentada pelo fabricante (Alpine Mute Co) como uma surdina “*shield mute*” Menuhin, não fornece maiores detalhes a respeito da menção ao nome do célebre violinista¹⁴⁷, sugerindo tratar-se de um relançamento de um produto anterior¹⁴⁸. Um dos poucos dispositivos analisados feitos com mais de um material, sendo, nesse caso, a combinação de materiais diferentes, aparentemente, uma estratégia para influenciar na alteração do timbre. Pode ser utilizada entre os três pares de cordas, embora, geralmente, seja empregada na posição central.

¹⁴⁷ Yehudi Menuhin (1916-1999), americano radicado no Reino Unido, um dos grandes intérpretes de violino do século XX.

¹⁴⁸ Informações disponíveis no site da empresa: <<http://www.thealpinemuteco.com/>>

Figura 3.11 – Surdina Alpine, em posição de repouso (a) e em posição de uso (b).



(a) (b)
(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: plástico rígido com um disco de metal fixo no centro do dispositivo;
- medidas: 2,0 cm x 2,2 cm x 0,7cm;
- peso: 3,72 gramas;

3.2.3 *Surdinas de estudo (abafadores)*

Os dispositivos desse tipo foram concebidos, em princípio, com a função de reduzir a intensidade dos instrumentos ao máximo, permitindo a prática dos mesmos em locais ou circunstâncias em que seja necessária a menor emissão sonora possível (Fig. 3.12). Entretanto, observa-se uma influência clara entre a maior atenuação e a maior alteração do timbre dos instrumentos, sendo a grande questão para esse tipo de surdina chegar à melhor relação entre um maior efeito de atenuação da intensidade e uma menor alteração do timbre. Mudanças radicais na sonoridade, que desfiguram o timbre característico dos instrumentos, depois de certo ponto, tendem a comprometer a prática dos mesmos, pois, impossibilitam a diferenciação clara entre as distintas sonoridades possíveis de serem obtidas nos instrumentos por meio da variação da técnica de execução (golpe de arco, articulação, ponto de contato), tendendo a uniformizar a sonoridade, independentemente da maneira como se toca. Além disso, a faixa dinâmica muito limitada pela redução radical da emissão sonora compromete, igualmente, o contorno dinâmico do fraseado musical. Não obstante essas questões, o uso de abafadores é bastante difundido entre os musicistas, diante da necessidade da prática contínua mesmo quando hospedados em

locais sem tratamento acústico adequado para a prática instrumental ou utilizando o período noturno em sua rotina de estudos.

Por outro lado, a sonoridade muito diferente produzida por essas surdinas já atraiu, ainda que de maneira incipiente, o interesse de compositores de música contemporânea, como já mencionado anteriormente (seção 2.1.2), que perceberam aí um novo campo de exploração da paleta sonora das cordas, solicitando, por exemplo, o uso diferenciado de surdinas de madeira ou de metal em partes distintas de suas obras. Ainda muito pouco explorado, o uso desse tipo de efeito nas diferentes formações de conjuntos de cordas oferece um enorme potencial a ser desenvolvido.

Figura 3.12 – Surdinas de estudo ou abafadores (tamanho real).



(fonte: imagem própria)

3.2.3.1 *Abafador preto de borracha (abfBor1)*¹⁴⁹

Abafador feito de borracha semiflexível, com cinco dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete e parte das laterais (Fig. 3.12a e 3.13); utilizado, em princípio, apenas para prática em locais onde é preciso minimizar a emissão de som do instrumento, seu uso é bastante difundido entre os instrumentistas. Possui versões para os demais instrumentos de arco. Oferece uma alternativa aos abafadores de metal, cuja alteração no timbre dos instrumentos, geralmente, não agrada aos instrumentistas, pois seu efeito sobre o mesmo altera bem menos a sonoridade original, quando comparado aos dispositivos de metal muito mais pesados. Entretanto, seu efeito de atenuação é, igualmente, bem mais leve (ficando próximo de algumas das surdinas de performance), o que compromete bastante sua eficácia nesse quesito.

Figura 3.13 – Abafador preto de borracha em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: borracha semiflexível;
- medidas: 5,5cm x 2,2cm x 1,1cm;
- peso: 7,60 gramas;

3.2.3.2 *Abafador vermelho de borracha (abfBor2)*

Abafador feito de borracha mais rígida do que o abafador anterior, com, igualmente, cinco dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete e parte das

¹⁴⁹ Patente similar à dessa surdina foi localizada, U.S. Patent n. 4.677.560, de 1987 (Anexo A).

laterais (Fig. 3.12b e 3.14); também utilizado, em princípio, apenas para estudo. Assim como o outro abafador de borracha já descrito, altera o timbre relativamente pouco, se comparado aos de metal, conseguindo um efeito de atenuação mais forte do que o dispositivo anterior, sendo mais pesado do que este. Entretanto, seu efeito de atenuação ainda é bem menor do que o das surdinas pesadas de metal.

Figura 3.14 – Abafador vermelho de borracha em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: borracha rígida;
- medidas: 5,3cm x 2,5cm x 1,4cm;
- peso: 13,40 gramas;

3.2.3.3 *Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0)*

Surdina confeccionada em metal leve não especificado, com três dentes (Fig. 3.12c e 3.15), similar aos modelos mais tradicionais em formato de garfo (como as surdinas de madeira), concebida, em princípio, para utilização em uma única posição central, comporta o mesmo tipo de uso descrito para as outras surdinas com o mesmo formato. Permite, porém, que seja inserido sobre o cavalete parcialmente, cobrindo o mesmo mais ou menos, com seus três dentes, possibilitando, assim, outras configurações de uso; provoca uma alteração de timbre bastante significativa, embora a atenuação que produz seja mais próxima à dos abafadores de borracha do que dos demais dispositivos de metal, bem mais pesados do que ele.

Figura 3.15 – Abafador de metal leve com três dentes em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: metal leve;
- medidas: 3,0 cm x 2,8 cm x 0,9 cm;
- peso: 15,55 gramas;

3.2.3.4 Abafador de metal (*abfMt1*)

Abafador de metal pesado, com quatro dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete¹⁵⁰ (Fig. 3.12d e 3.16); modelo já bem tradicional, dentre as surdinas de estudo, possuindo versões adaptadas para os demais instrumentos de arco. Produz atenuação muito forte na sonoridade dos instrumentos, sendo, portanto, ideal para a prática em ambientes onde seja necessário limitar ao máximo possível a intensidade dos instrumentos. Entretanto, altera demasiadamente a sonoridade dos mesmos, dificultando o estudo que envolva um controle e diferenciação de sonoridades mais apurado (como, por exemplo, o efeito da mudança de ponto de contato *sul tasto/sul ponticello*), além de comprometer, também, a realização do contorno dinâmico.

¹⁵⁰ Mesma surdina utilizada na amostragem do mestrado (surd3).

Figura 3.16 – Abafador de metal em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: metal cromado;
- medidas: 5cm x 2,5cm x 1,2cm;
- peso: 44,9 gramas;

3.2.3.5 Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2)

Abafador de metal pesado revestido de borracha, com quatro dentes e uma só posição de encaixe, cobrindo toda a superfície do cavalete (Fig. 3.12e e 3.17); o modelo é um desenvolvimento do anterior, sendo bem semelhante ao mesmo, embora ligeiramente maior e consideravelmente mais pesado; o revestimento de borracha, aparentemente, diminui um pouco a sonoridade demasiado “metálica”, característica desse tipo de dispositivo, tornando seu efeito um pouco mais equilibrado. Produz atenuação um pouco mais forte do que o abafador anterior e, apesar da sonoridade menos alterada, reproduz as mesmas questões relativas à prática de estudo observadas com o dispositivo anterior.

Figura 3.17 – Abafador de metal revestido de borracha em posição de uso.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: metal revestido de borracha;
- medidas: 5,5cm x 2,8cm x 1,7cm;
- peso: 58,65 gramas;

3.3 Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas: análise da influência dos diferentes fatores de construção dos dispositivos em seus efeitos

Para determinar como as diferentes características físicas das surdinas (material de construção, peso, acoplamento com o cavalete) exercem influência nas alterações que provocam na sonoridade do violino, tanto em termos de intensidade quanto de timbre, as prospecções aqui descritas procuram isolar aspectos físicos específicos dos dispositivos, para que se possa mensurar seu impacto, por meio do estudo comparativo das diferenças de efeito registradas e analisadas.

Foram desenvolvidos três estudos com diferentes estratégias para tentar relacionar características físicas específicas das surdinas com os efeitos produzidos pelas mesmas.

3.3.1 *Estudo um: variação do material de confecção e/ou peso em surdinas com mesmo formato e mesmo acoplamento com o cavalete*

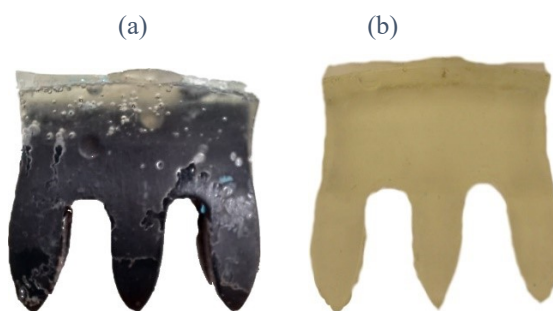
3.3.1.1 *Dispositivos de formato similar feitos de mesmo material com pesos diferentes*

Para essa prospecção são empregadas as surdinas de ébano de violino e viola (vide seções 3.2.1.4 e 3.2.1.5) que, por possuírem largura ligeiramente diferente, apresentam pesos diferentes, 6,44 e 8,38 gramas respectivamente, sendo em todas as demais características semelhantes.

3.3.1.2 *Dispositivos de mesmo formato e peso similar, feitos com diferentes materiais*

Para essa estratégia foi alterada uma unidade da surdina de ébano menor original, que manteve a base, os dentes originais de ébano (que entram em contato com o cavalete), mas, teve a parte de cima enxertada com resina epóxi (Fig. 3.18a), e confeccionada uma réplica da mesma surdina, feita integralmente de resina epóxi (Fig. 3.18b). Iguais em forma e acoplamento com o cavalete, mantêm o peso muito próximo ao da original; feitas, porém, de materiais diferentes (total e parcial respectivamente), busca-se isolar o impacto da variável material de construção nos efeitos sobre o som do instrumento.

Figura 3.18 – Réplica da surdina de ébano menor, feita de resina epóxi, e surdina de ébano menor alterada com enxerto de resina epóxi na parte superior.



(fonte: imagem própria)

➤ *Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx)*

Características físicas:

- material de construção: ébano na porção inferior (dentes de madeira) e resina epóxi na parte superior (topo);

- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- Peso: 6,85 gramas¹⁵¹;

➤ ***Réplica de resina epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEb1pq)***

Características físicas:

- material de construção: resina epóxi;
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- Peso: 6,40 gramas¹⁵²;

3.3.1.3 Dispositivos feitos com materiais diferentes e pesos diferentes

Essa estratégia procura avaliar o efeito da mudança de material acompanhada de mudança de peso dos dispositivos. Para isso, foi alterada uma unidade da surdina de ébano menor, enxertando sua parte superior com chumbo (Fig. 3.19a), e confeccionadas réplicas, feitas integralmente de chumbo, dessa mesma surdina (Fig. 3.19b) e do abafador de metal revestido de borracha (Fig. 3.19c), visando a comparação de seus efeitos com os respectivos originais. Mantendo a forma e mecanismo de acoplamento com o cavalete das mesmas em relação a seus respectivos originais, busca-se isolar o impacto da variável material de construção junto à variação de peso nos efeitos sobre o som do instrumento.

Figura 3.19 – (a) Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Cb) e réplicas de chumbo da (b) surdina de ébano menor (repChbsdEb1pq) e do (c) abafador de metal revestido de borracha (abfMt2).



(fonte: imagem própria)

¹⁵¹ Diferença de 6% a mais em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

¹⁵² Diferença de 0,6% a menos em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

➤ ***Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb)***

Características físicas:

- material de construção: ébano na porção inferior (dentes de madeira) e chumbo na parte superior (topo);
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- Peso: 37,22 gramas¹⁵³;

➤ ***Réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq)***

Características físicas:

- material de construção: chumbo;
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- peso: 70,30 gramas¹⁵⁴;

➤ ***Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2)***

Características físicas:

- material de construção: chumbo;
- medidas: 5,5cm x 2,8cm x 1,7cm;
- peso: 168,50 gramas¹⁵⁵;

3.3.2 Estudo dois: variação do número e/ou posicionamento dos pontos de contato e da área de contato com o cavalete

Esse estudo procura isolar o impacto da alteração do acoplamento das surdinas com o cavalete em seus efeitos. Para o mesmo, foram definidas algumas estratégias que variam o número de dentes a tocarem o cavalete, a posição em que o tocam, e o quanto são inseridos no mesmo.

¹⁵³ Diferença de 478% a mais em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

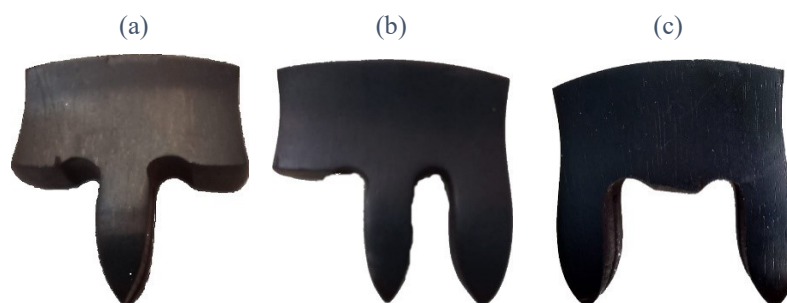
¹⁵⁴ Diferença de 992% a mais em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

¹⁵⁵ Diferença de 187% a mais em relação ao peso do abafador de metal revestido de borracha original (58,65g).

3.3.2.1 Alteração do número de dentes que entram em contato com o cavalete em diferentes acoplamentos

Para essa análise foram alteradas três unidades da surdina de ébano menor: removendo-se dois dentes da mesma, conservando-se apenas o central (Fig. 3.20a), removendo-se um dente na lateral, mantendo-se dois dentes próximos (Fig. 3.20b) e removendo-se apenas o dente central, mantendo-se dois dentes afastados (Fig. 3.20c). Dois desses dispositivos (a e b) foram amostrados em mais de uma posição.

Figura 3.20 – Surdina de ébano menor com apenas um dente (a), surdina de ébano menor com dois dentes próximos (b) e surdina de ébano menor com dois dentes separados (c).



(fonte: imagem própria)

➤ *Surdina de ébano menor com apenas um dente*

Características físicas:

- material de construção: ébano;
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm porção com o dente e 1,5 cm porções sem os dentes x 0,75cm;
- peso: 4,90 gramas¹⁵⁶;

Utilizada em três posições diferentes:

- acoplada entre as cordas Sol/Ré (**sdEb1dGD**);
- acoplada entre as cordas Ré/Lá (**sdEb1dDA**);
- acoplada entre as cordas Lá/Mi (**sdEb1dAE**);

➤ *Surdina de ébano menor com dois dentes próximos*

Características físicas:

- material de construção: ébano;

¹⁵⁶ Diferença de 24% a menos em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm porções com os dentes e 1,5 cm porção sem o dente x 0,75cm;
- peso: 4,85 gramas¹⁵⁷;

Utilizada em duas posições diferentes:

- acoplada entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (**sdEb2dpG**);
- acoplada entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (**sdEb2dpE**);

➤ ***Surdina de ébano menor com dois dentes separados (sdEb2ds)***

Características físicas:

- material de construção: ébano;
- medidas: 3,2 cm x 3,0 cm porções com os dentes e 1,5 cm porção sem o dente x 0,75cm;
- peso: 4,90 gramas¹⁵⁸;

Utilizada em uma única posição, com os dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi.

3.3.2 Alteração da área de contato com o cavalete por meio de menor inserção dos dentes dos dispositivos no mesmo

Para essa prospecção são empregadas a surdina Heifetz e o abafador de metal leve com três dentes (vide seções 3.2.1.3 e 3.2.3.1) parcialmente inseridos no cavalete (**sdHfzP** e **abfMtOP** respectivamente), variando assim a área de contato com o mesmo, quando comparadas aos seus respectivos usos com inserção total dos dentes sobre o cavalete.

3.3.3 Estudo três: diferentes configurações de uso de partes de um dispositivo segmentado

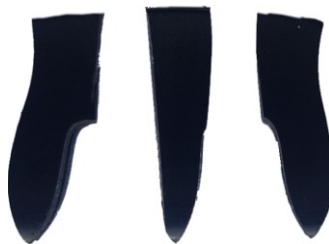
➤ ***Partes da surdina de ébano menor segmentada***

Para esse estudo foi segmentada uma unidade da surdina de ébano menor, separando-a em três dentes similares (Fig. 3.21). Com isso é possível comparar os efeitos da utilização de duas ou três partes, em diferentes combinações, com a surdina original e com outros dispositivos alterados da mesma surdina.

¹⁵⁷ Diferença de 25% a menos em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

¹⁵⁸ Diferença de 24% a menos em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

Figura 3.21 – Partes da surdina de ébano menor segmentada.



(fonte: imagem própria)

Características físicas:

- material de construção: ébano;
- medidas: 0,8 cm x 3,0 cm x 0,75cm;
- peso: 2,00 gramas¹⁵⁹ (cada dente);

Utilizadas em quatro configurações diferentes:

- Duas unidades entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (**sdEbSegGDDA**);
- Duas unidades entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (**sdEbSegGDAE**);
- Duas unidades entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (**sdEbSegDAAE**);
- Três unidades entre os três pares de cordas adjacentes (**sdEbSegGDDAAE**);

3.4 Amostragem do som dos violinos

Embora a pesquisa não abranja questões relativas à performance musical, do ponto de vista artístico, manteve-se a abordagem empregada nos trabalhos anteriores¹⁶⁰, de registrar sempre execução instrumental humana, em detrimento da utilização de arcos mecânicos¹⁶¹,

¹⁵⁹ Diferença de 69% a menos em relação ao peso da surdina de ébano menor original (6,44g).

¹⁶⁰ Mestrado concluído em 2019 na UFMG e demais artigos produzidos desde então.

¹⁶¹ Desde o começo do século XX foram utilizados nas pesquisas acerca do violino diferentes modelos de “arcos mecânicos” – dispositivos capazes de reproduzir um efeito similar ao da ação da crina do arco manejado por um intérprete humano na geração do som do instrumento, porém, sem a grande variabilidade que a performance humana acarreta, ao tentar uniformizar mecanicamente as três variáveis principais na geração do som em cordas friccionadas – pressão exercida contra a corda, velocidade do elemento de fricção (no caso do arco a crina) e o ponto de contato com a corda em relação ao cavalete – ou outros procedimentos, como condução mecânica de um arco normal sobre um violino. Diferentes propostas, de discos de celuloide a faixas de circulação contínua de crina, são descritas em artigos: Raman em 1920, Meinel em 1937, Saunders em 1937, Rohloff em 1940, Schumacher em 1994, McLennan em 2000 (McLENNAN, 2000). Tais mecanismos e procedimentos, porém, geram um afastamento significativo da prática e das condições reais nas quais o som do instrumento é produzido. Tanto McLennan quanto Saunders, que fizeram pesquisas comparando dados obtidos em situações de estudo similares usando performance humana e arcos mecânicos, concluíram que as diferenças nos dados obtidos pelos dois processos não eram significativas, considerando-se alguma padronização nas execuções humanas (SAUNDERS, 1937 e McLENNAN, 2000). Saunders, autor de extensas pesquisas sobre o violino, chama, ainda, a atenção para uma questão relevante para a validação dos resultados: “[...] *hand bowing was used, as it is far more convenient, and musicians accept the results obtained by means of it with less prejudice than they would if the celluloid-disk bow had been used*” (SAUNDERS, 1937, p. 83). (“[...] a performance humana foi usada, pois é mais conveniente, e os músicos aceitam os resultados obtidos por meio dela com menos resistência do que se o mecanismo de disco de celuloide tivesse sido usado.” – tradução nossa)

considerando que tal abordagem é mais próxima à condição real de performance musical do que a utilização de mecanismos artificiais.

Devido ao maior número de amostras necessárias para a avaliação e comparação de uma grande quantidade de surdinas e configurações de uso diferentes, foi desenvolvido um novo modelo de amostragem que substituiu as sequências cromáticas desenvolvido na pesquisa de mestrado. O novo modelo reduziu substancialmente a duração de cada amostra, permitindo uma maior agilidade no processo de coleta de dados.

O novo modelo de amostras, que será detalhado na sequência da subseção, consiste em um arquivo de áudio registrado de maneira padronizada com uma sequência de oito glissandos por corda, com quatro segundos de duração cada, ascendentes e descendentes, alternadamente. Assim, as amostras incluem 32 glissandos cada, distribuídos pelas quatro cordas.

Considerando-se que na coleta de dados objetivos da presente pesquisa não se analisam questões relativas às variações geradas por diferenças de articulação, dinâmica ou fraseado nas propriedades intrínsecas do som do instrumento, buscando-se extrair do áudio informação acerca das características gerais harmônicas e não harmônicas e da intensidade média de irradiação sonora dos instrumentos analisados numa única condição de execução e amostragem específicas, o emprego de glissandos foi considerado adequado, tendo sido já utilizado em diferentes tipos de pesquisa relacionados à sonoridade do instrumento (BROWN; PUCKETTE, 1992; MILLER, 1993; PEREZ CARRILLO et al, 2011; ELIE, GAUTIER, DAVID, 2014), possibilitando uma amostragem representativa e eficiente para o estudo proposto, como observa Perez Carrillo: *“Playing glissandi was preferred rather than performing other musical exercises, as it is a simple method to sweep and homogeneously excite all frequencies in a wide frequency range¹⁶²”* (PEREZ CARRILLO et al, 2011, p. 1021).

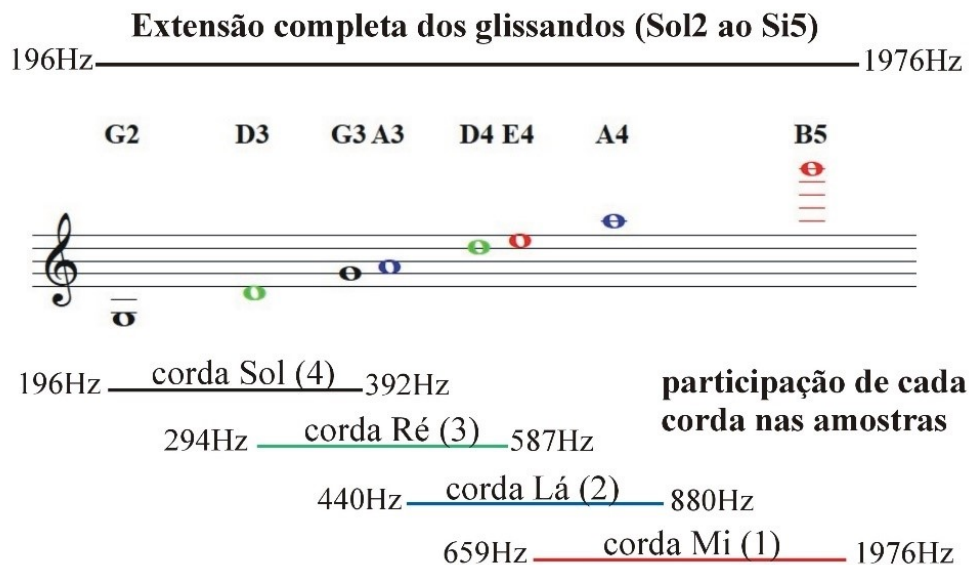
3.4.1 Extensão do instrumento analisada

Cada glissando começa na corda solta e termina em sua oitava, exceto para a corda Mi, na qual a extensão vai até o Si5 (uma décima segunda), portanto as amostras abarcam mais de três oitavas, do Sol2 ao Si5 (mesma extensão da amostragem cromática anterior desenvolvida no mestrado). Mantem-se, também, a mesma sobreposição de frequências (uma

¹⁶² “Tocar glissandos foi preferido ao invés de realizar outras performances musicais, pois, é um método simples para cobrir e excitar homogeneamente todas as frequências em uma ampla faixa.” (tradução nossa)

4ª justa) do modelo anterior, entre a parte inicial de cada corda e a parte final da próxima corda, exceto para a corda Sol. Esse procedimento aumenta a representatividade do som do instrumento, marcado por uma sonoridade típica em cada corda¹⁶³ (Fig. 3.22).

Figura 3.22 – Extensão completa de análise, incluindo as frequências fundamentais das notas que delimitam os glissandos e sua distribuição pelas quatro cordas do violino.



3.4.2 Protocolo de execução instrumental das amostras

3.4.2.1 Condições gerais

Os instrumentos utilizados foram sempre afinados com auxílio de um afinador eletrônico, corda por corda, no padrão de afinação do temperamento igual¹⁶⁴, com diapasão em

¹⁶³ Fato bem conhecido de compositores e intérpretes em geral, que identificam características bem específicas de timbre em cada corda e, conseqüentemente, atributos expressivos próprios a cada uma delas, como pode ser exemplificado pela descrição feita pelo maestro Sergio Magnani em seu livro *Expressão e Comunicação na Linguagem da Música*, quando discorre acerca do violino: “Outro campo aberto à fantasia do compositor ou do intérprete é o da corda a ser escolhida para determinada frase, pois a mesma nota pode ser executada em diferentes posições, em mais de uma corda. De fato, cada uma das quatro cordas do instrumento tem a sua própria personalidade. A primeira é brilhante, aberta, penetrante; a segunda, suave e ternamente patética; a terceira, nobre e intimamente afetuosa; a quarta, apaixonada e dramática, com possibilidades de alcançar uma dura agressividade.” (MAGNANI, 1989, p. 242)

¹⁶⁴ Forma de temperamento (maneira pela qual os intervalos musicais são divididos em uma escala) adotado atualmente como padrão no ocidente, no qual a oitava é dividida em 12 semitons exatamente iguais (100 cents cada). Conseqüentemente, ocorre uma ligeira discrepância em relação aos intervalos calculados diretamente a partir dos harmônicos, notadamente nas quintas (ligeiramente mais baixas do que seriam) e nas terças (ligeiramente mais altas).

440 Hz para o Lá3. Foi estabelecido que os instrumentos deveriam estar com cordas com pelo menos dez dias de uso, não sendo substituídas ao longo dos registros¹⁶⁵.

Foi utilizado em todas as gravações um mesmo arco, modelo Tourte típico, confeccionado com madeira de Pernambuco (*Caesalpinia echinata*). O feixe de crina desse arco mede 65 cm de comprimento por 1,2 cm de largura, em média¹⁶⁶. Foram feitas três pequenas marcas na vareta do arco, indicando os quartos do mesmo, contados a partir das extremidades (16,25cm cada quarto), para sincronização das quatro batidas do metrônomo de cada compasso com o início de cada arcada nas extremidades e as três marcas, buscando-se uniformizar a velocidade de deslocamento do arco (Fig. 3.23).

Figura 3.23 – Arco utilizado nas gravações com as marcações para orientação dos instrumentistas, dividindo a extensão de crina do mesmo em quatro partes iguais.



(fonte: imagem própria)

Foi definida a aplicação de resina¹⁶⁷ na crina do arco uma vez a cada sete execuções da amostra completa. A resina é passada, antes da gravação da primeira amostra da sequência de sete, em toda a extensão da crina, duas vezes seguidas, de forma contínua e suave, alternando-se o movimento nos dois sentidos. Essa definição foi fruto de testes práticos, pois, havia-se detectado que a aplicação excessiva da resina gerava acúmulo da mesma na crina e nas cordas, alterando a aferição dos percentuais de residual não-harmônico e a intensidade do som emitido pelos instrumentos. Com essa regularidade de aplicação, os valores de participação do residual não harmônico da condição de controle, cujos *takes* foram gravados sempre ao se aplicar a resina, mantiveram-se estáveis.

¹⁶⁵ Foram utilizados especificamente para a amostragem encordoamentos de perlon (material sintético com o qual é confeccionado o núcleo, também conhecido como alma, da segunda, terceira e quarta cordas, que são encapadas com metal externamente – somente a primeira corda é de metal maciço) da marca Thomastik Dominant, modelo 135b (fabricação austríaca), nos dois instrumentos.

¹⁶⁶ Em artigo intitulado *Effect of the width of the bow hair on the violin string spectrum*, os autores desenvolvem estudo relacionando a largura do feixe de crina do arco, além de outros fatores, a alterações espectrais do som emitido. (SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT; 2003)

¹⁶⁷ Foi utilizada sempre uma resina da marca alemã Pirastro, tipo TONICA, definida pelo fabricante como de “dureza média”.

3.4.2.2 *Execução instrumental*

Devido às significativas variações que podem ocorrer na produção e emissão sonora dos instrumentos musicais, quer pelas diferentes possibilidades de execução dos mesmos, quer pelas pequenas variações inerentes à repetição de uma mesma performance por um musicista, é adotado um protocolo de execução instrumental que busca padronizar ao máximo os registros obtidos a partir de cada reprodução do modelo de amostra, permitindo, assim, comparações entre as diferentes condições de estudo.

Os executantes tocam sempre sentados, sem vibrato, empregando *détaché*¹⁶⁸, utilizando toda a extensão de crina do arco o mais regularmente possível, de forma a sincronizar as quatro batidas do metrônomo de cada arcada com as extremidades e as três marcas feitas na vareta do arco, observando o ponto de contato com as cordas orientado pelo posicionamento de uma das extremidades do feixe de crinas a meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete, em direção a este, ficando, portanto, mais próximo ao mesmo do que ao espelho, inclinando-se a vareta do arco o mínimo possível¹⁶⁹, somente o indispensável para o controle da qualidade da sonoridade próximo ao talão; dentro dessas condições estritas, foram instruídos a tocar o mais forte possível, sem desfigurar a sonoridade típica do instrumento, buscando manter a sonoridade o mais contínua possível. Como o deslocamento do arco é relativamente lento, esse procedimento tem como resultado um patamar de dinâmica que, em termos de uso prático em performance, poderia ser definido como *mezzo forte*.

A sequência de glissandos é tocada das cordas graves para as agudas, conforme a partitura abaixo (Fig. 3.24), com os executantes escutando a marcação do metrônomo por meio de um fone de estúdio.

¹⁶⁸ Golpe de arco básico: “Em princípio, requer um movimento contínuo, com o arco mudando de direção a cada nota (para baixo e para cima), sem qualquer tipo de interrupção, a não ser a causada pela própria mudança.” (BOSÍSIO; LAVIGNE, 1999, p. 19)

¹⁶⁹ Faz parte da técnica dos instrumentos de arco alterar a inclinação da vareta do mesmo em relação à corda, ao se aproximar do talão (parte inferior do arco onde o mesmo é seguro pelo instrumentista), diminuindo, dessa forma, a quantidade de crina a ter contato com a corda. Tal procedimento é utilizado, principalmente, para ajudar a compensar o excesso de peso do arco nessa região, de forma a se manter maior uniformidade na sonoridade ao se tocar. A inclinação ajuda também a evitar ruídos indesejáveis na emissão do som no extremo talão do arco, controlando de maneira mais eficiente os ataques das notas. O procedimento impacta, também, as características espectrais do som emitido (SCHOONDERWALDT; GUETTLER; ASKENFELT; 2003).

Figura 3.24 – Partitura com a sequência de glissandos tocada das cordas graves para as agudas das amostras utilizadas para a pesquisa.

Modelo de amostragem com glissandos

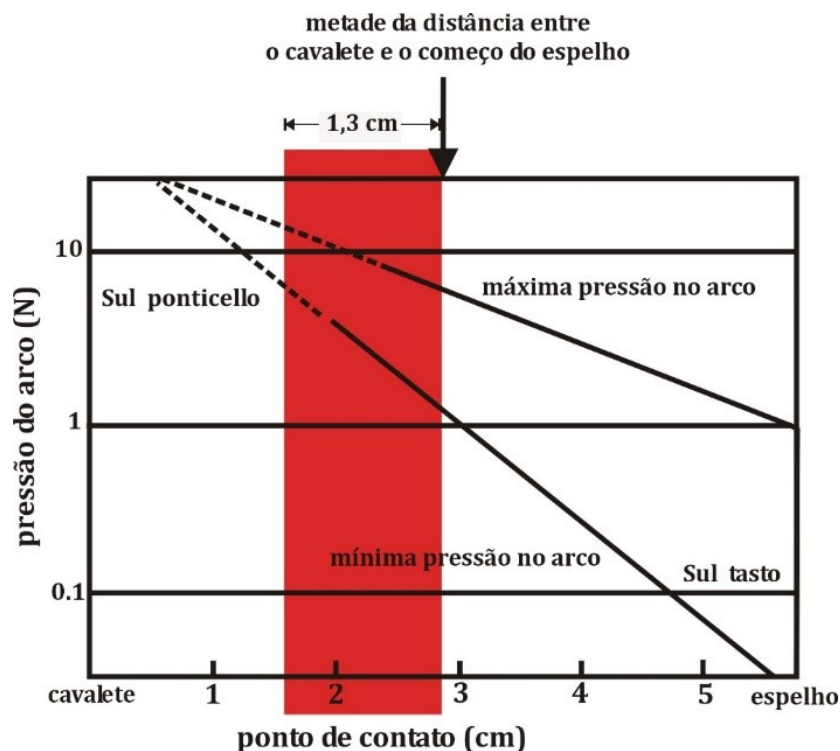
The musical score consists of four staves, each representing a different string: Sul Sol, Sul Ré, Sul Lá, and Sul Mi. The time signature is 4/4 and the tempo is marked as ♩ = 60. Each staff shows a sequence of glissandos, indicated by a 'V' above the notes. The Sul Mi staff also features a '≡' symbol above the notes, likely indicating a specific bowing technique or position.

3.4.2.3 Critérios para a definição do protocolo de execução instrumental

Considerou-se para a definição do presente protocolo a relação entre os três parâmetros básicos de utilização do arco, discutidos anteriormente na seção **1.6 (A arcada: uma equação de três variáveis)**: velocidade de deslocamento do arco, pressão do arco contra a corda e ponto de contato do arco com a corda. Considerando-se as implicações dessa relação, o presente protocolo fixou dois dos parâmetros:

- o ponto de contato: estabelecido pelo posicionamento de uma das extremidades do feixe de crinas do arco a meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete, em direção a este, ficando, portanto, mais próxima ao mesmo do que ao espelho (Fig. 3.25).
- a velocidade do arco: fixada pela obrigatoriedade de utilizar-se toda a extensão da crina do arco em cada glissando, seguindo-se o metrônomo em 60 BPM (sessenta batidas por minuto), com quatro tempos para cada arcada, sincronizando-se as quatro batidas de metrônomo de cada glissando com o início de cada arcada e as três marcas feitas ao longo da vareta do arco, dividindo-o em quartos (Fig. 3.23), o que leva a uma velocidade média de deslocamento do arco de aproximadamente 16 cm/seg.

Figura 3.25 – Ponto de contato adotado para a execução das amostras em relação ao diagrama de Schelleng. A faixa vermelha representa o contato do arco com as cordas.



(fonte: adaptado de SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012, p. 279)

Quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco sobre a corda, a mais difícil de ser mensurada pelo sujeito executante (não há nenhum parâmetro objetivo para determinar ou descrever a pressão exercida pelo instrumentista), esta restará condicionada pelos limites impostos pelas outras duas, a partir da instrução dada aos sujeitos para tocar o mais forte possível, mantendo uma sonoridade de qualidade (evitando-se rangidos ou outras falhas na emissão do som) dentro das condições estabelecidas. Como foi definido por Schelleng (Fig. 3.25), em 1973: para uma velocidade de arco constante, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato, para que a corda entre em vibração conforme o movimento de Helmholtz (SCHELLENG, 1973 apud FLETCHER; ROSSING, 2012). Considerou-se, portanto, que, tendo sido fixadas as outras duas variáveis, a instrução para tocar o mais forte possível levaria à utilização da “pressão máxima possível” nas condições especificadas, tendendo a não haver uma variação significativa na pressão utilizada pelos instrumentistas ao tocarem.

3.4.3 Registro de áudio das amostras

3.4.3.1 Interface de áudio utilizada

Foi utilizada uma interface de áudio da marca Focusrite, modelo Scarlett 2i4, de dois canais, com conexão USB com o computador com as seguintes especificações técnicas:

Entrada de microfones:

Faixa dinâmica: 106 dB (ponderação A);

Resposta de frequência: 20 Hz – 20 kHz, $\pm 0,1$ dB;

THD+N < 0,002 % (ganho mínimo, entrada de -1 dB FS com filtro passa-banda 22 Hz/22 kHz)

Ruído equivalente > -126 dB (ponderação A)

Nível de entrada máximo: +4 dBu

Faixa de ganho 50 dB

(fonte: manual do produto fornecido pelo fabricante¹⁷⁰)

3.4.3.2 Microfone utilizado

Foi utilizado em todas as gravações de áudio um microfone de tipo condensador, da marca DPA, modelo 4099-DC-1-199-V (curva de resposta descrita pelo gráfico da Fig. 3.27), desenvolvido pelo fabricante, especificamente para o uso em violinos e violas, inclusive acompanhado de um adaptador (*clip*), que permite a fixação do dispositivo diretamente no corpo do instrumento (Fig. 3.26).

¹⁷⁰ Disponível em: <https://fael-downloads-prod.focusrite.com/customer/prod/s3fs-public/focusrite/downloads/8174/scarlett2i4-user-guide.pdf>. Acesso em 21 ago. 2022.

Figura 3.26 – Microfone DPA, modelo 4099-DC-1-199-V, com o *clip* para uso com violino utilizado em todas as gravações.



(fonte: www.dpamicrophones.com¹⁷¹)

Especificações técnicas:

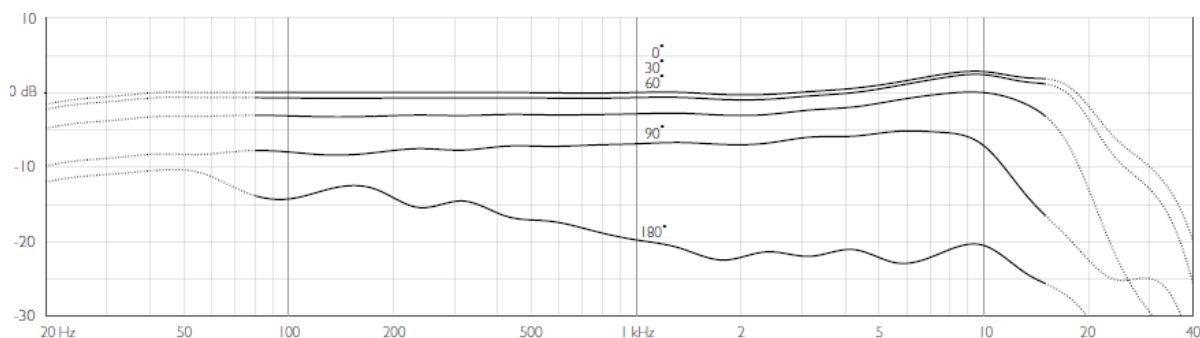
Padrão direcional: super-cardióide
 Princípio da Operação: variação de pressão
 Tipo de cápsula: condensador pré-polarizado
 Diâmetro da cápsula: 5,4 mm
 Resposta de frequência: 20 Hz - 20 kHz
 Faixa de frequência efetiva ± 2 dB, a 20 cm (7,9 pol.): 80 Hz - 15 kHz com reforço suave de 2 dB a 10 - 12 kHz
 Sensibilidade, nominal ± 3 dB a 1 kHz: 6 mV/Pa; -44 dB re. 1 V/Pa
 Nível de ruído equivalente (ponderação A): Tipo. 23 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 26 dB(A))
 Distorção, THD < 1%: 128 dB SPL RMS, pico de 131 dB SPL
 Faixa dinâmica: 108 dB
 Máx. SPL, THD 10%: 142 dB
 Impedância de saída MicroDot: 30 - 40 Ω

(fonte: manual do fabricante¹⁷²)

¹⁷¹ Disponível em: <https://www.dpamicrophones.com/instrument/4099-instrument-microphone>. Acesso em: 10 julho 2023.

¹⁷² Disponível em: <https://www.dpamicrophones.com/DPA/media/DPA-Manual/DPI-4099-C-QG-web-091120.pdf?ext=.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

Figura 3.27 – Curva de resposta (a 20cm da fonte sonora) do microfone DPA, modelo 4099-DC-1-199-V, utilizado nas gravações.



(fonte: manual do fabricante¹⁷³)

3.4.3.3 Protocolo de gravação

O microfone condensador DPA, modelo 4099-DC-1-199-V foi fixado ao instrumento por meio do adaptador próprio, sempre da mesma forma (Fig. 3.28), posicionado a aproximadamente 10 cm do tampo do violino e apontado para a extremidade mais próxima do cavalete (4 cm entre a extremidade do microfone e a quina do cavalete). O executante toca com fone de ouvido para acompanhar a marcação do metrônomo (60 bpm) para regularizar a duração de cada glissando. O ganho da interface de áudio foi ajustado sempre com o mesmo valor para a padronização dos registros. Cada amostra é gravada de forma contínua, em um único *take*, sem nenhum corte.

Figura 3.28 – Microfone DPA posicionado no instrumento, por meio do adaptador próprio, para a amostragem.



(fonte: imagem própria)

¹⁷³ Disponível em: <https://www.dpamicrophones.com/DPA/media/DPA-Manual/DPI-4099-C-QG-web-091120.pdf?ext=.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

3.4.4 *Número de executantes e de takes para cada condição de estudo*

Como critério para seleção dos musicistas para o registro das amostras, foi definido que possuísem formação acadêmica no estudo do instrumento, com vivência e prática musical profissionais. Devido ao grande número de amostras a serem registradas para o desenvolvimento do trabalho, foram convidados quatro instrumentistas para colaborarem com o projeto, se revezando na coleta dos registros. Dois com pós-graduação em música e dois graduandos do curso de Bacharelado em Violino da Escola de Música da UFMG. Os quatro executantes receberam o *Protocolo de execução instrumental para amostragem de áudio da pesquisa*, contendo informações acerca da pesquisa e instruções detalhadas para a execução das amostras a serem registradas¹⁷⁴.

Será considerada uma condição de estudo cada uma das configurações de gravação dos violinos, incluindo a condição de controle (registro sem o uso de nenhum tipo de surdina) e cada uso das distintas surdinas e diferentes configurações de uso analisadas na pesquisa. A utilização das surdinas originais apresentadas na seção 3.2 somou 14 condições de estudo distintas, enquanto os procedimentos descritos na seção 3.3, para as *Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas*, resultaram em mais 17, perfazendo um total de 32 condições de estudo analisadas.

Toda a amostragem foi reproduzida integralmente com cada um dos dois instrumentos selecionados para a pesquisa. Para a condição de controle, cada um dos quatro instrumentistas participantes da amostragem registrou seis *takes*, com cada violino, que foram gravados intercaladamente com as demais condições de estudo. Ela é composta, portanto, por um total de 48 *takes*, 24 com cada violino. Para todas as demais condições de estudo três dos executantes gravaram dois *takes* cada um, resultando, portanto, em seis *takes* com cada violino, considerando-se os dois instrumentos, doze amostras para cada uma dessas condições de estudo. Os *takes* ímpares foram iniciados com o movimento do arco para baixo e os pares para cima, ou seja, metade dos registros de cada condição de estudo foi feita com a direção do deslocamento do arco ao contrário da outra metade. Tal procedimento, junto à redundância dos registros, procura abarcar o impacto que diferenças individuais e de técnica de execução possam, eventualmente, acarretar nas características dos áudios registrados, aumentando a representatividade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

¹⁷⁴ O *Protocolo de execução instrumental para amostragem de áudio da pesquisa* está integralmente disponível no Apêndice B.

As gravações foram realizadas pelos quatro violinistas participantes em 12 sessões, entre os dias 28 de outubro de 2022 e 08 de março de 2023, na sala do LaPIS (Laboratório de Performance com Sistemas Interativos) da Escola de Música da UFMG, com exceção de uma única sessão, que foi registrada em outro ambiente¹⁷⁵.

3.4.5 *Formato final e número das amostras de áudio*

Cada amostra resultou em um arquivo de áudio ‘.wav’, com 2:08 minutos de duração, gravado com taxa de amostragem de 48 kHz e 24 bits de profundidade, no formato mono, com 32 glissandos, como descrito anteriormente, sem registro do metrônomo (para eventual segmentação do áudio utiliza-se a duração fixa de cada glissando).

Para essa parte de análise da pesquisa, foram coletados, no total, 420 takes com os dois violinos utilizados, em 32 condições de estudo distintas (48 da condição de controle, e 12 de cada uma das 31 condições de estudo com o uso de diferentes surdinas, configurações de uso e demais prospecções), perfazendo um total de 14 horas e 56 minutos de gravação, registrando um total de 13.440 glissandos distribuídos pelas quatro cordas dos dois instrumentos.

3.5 Descritores utilizados para extração de informação do áudio

3.5.1 *Loudness (intensidade ponderada do sinal acústico)*

Em trabalhos anteriores¹⁷⁶, valores RMS¹⁷⁷ foram utilizados para comparar as diferenças de intensidade média geradas pelo uso de surdinas em relação ao som original do violino. No entanto, a introdução de um descritor psicoacústico, que leva em consideração as diferenças de sensibilidade da audição humana à intensidade do som de acordo com sua frequência, do ponto de vista perceptivo, permite uma melhor avaliação do impacto do uso das surdinas na intensidade. Tendo como referência o conceito de “*equal Loudness contours*” desenvolvido inicialmente por Fletcher e Musson em 1933 (FLETCHER; MUNSON, 1933), o

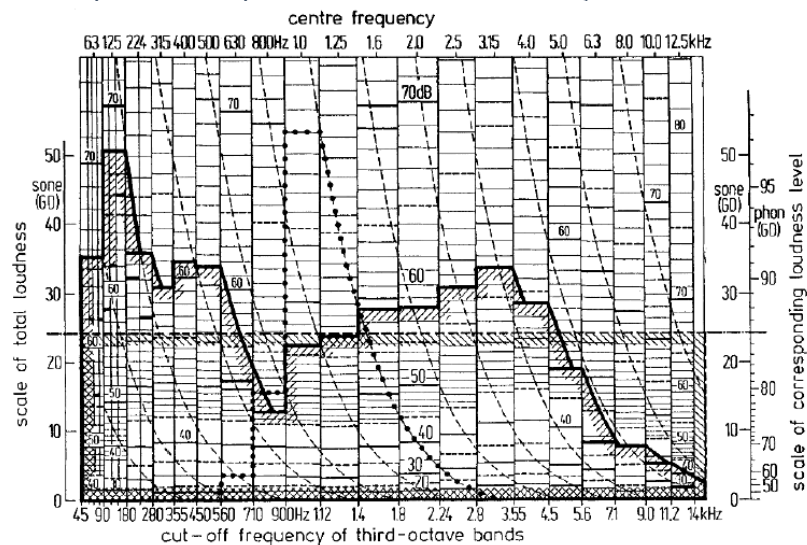
¹⁷⁵ Devido à característica de grande direcionalidade do microfone utilizado e à proximidade do mesmo da fonte sonora, não foram observadas alterações significativas nos valores médios dos registros dessa única sessão feita em outro ambiente, em relação aos demais takes gravados na sala do LaPIS.

¹⁷⁶ Nas análises do mestrado e em alguns dos artigos desenvolvidos pelo autor ao longo do doutorado.

¹⁷⁷ RMS (*Root Mean Square*): raiz quadrada da média aritmética dos quadrados de um conjunto de valores, usada como medida da magnitude típica de um conjunto de números, independentemente de seu sinal.

Loudness faz uma ponderação específica da energia registrada nas diferentes bandas críticas englobadas nos registros de áudio. Foi utilizada a função *acousticLoudness*, disponível na plataforma MATLAB, versões 2020a e 2022b. Esta função retorna um valor de *Loudness* em *sones* para cada amostra, de acordo com a norma técnica ISO 532-1 (2017), baseada no modelo Zwicker (FASTL; ZWICKER, 2006), exemplificado pelo gráfico da Fig. 3.29, permitindo uma mensuração da intensidade média nas diferentes condições de estudo.

Figura 3.29 – Exemplo do procedimento de cálculo de loudness, pelo modelo Zwicker, com a indicação dos níveis de filtro de terço de oitava utilizados na mensuração do ruído ambiente de uma fábrica. A intensidade específica está no eixo Y enquanto a taxa de banda crítica expressa em frequências de corte do filtro de terço de oitava está no eixo X.



(Fonte: FASTL; ZWICKER, 2006, p. 234).

Considerando-se, porém, que os valores de *Loudness* em *sones* carecem de um referencial para que se possa ter uma ideia real do nível de alteração na intensidade¹⁷⁸ provocado pelo uso das surdinas, optou-se por apresentar, também, para melhor avaliação desse efeito, o percentual de redução da intensidade em relação à condição de controle, ou seja, sem o uso de nenhum tipo de surdina. Para isso é feita a conversão dos valores em *sones* para *phons* (unidade logarítmica), por meio da função *sone2phon*, disponível na plataforma MATLAB, versão 2022b, que emprega a fórmula

$$40+10\log_2(\text{sone}),$$

¹⁷⁸ Na acústica, o termo intensidade sonora se refere à potência sonora média que atravessa uma área de 1 m² perpendicular ao fluxo. No processamento de sinais, este termo é utilizado de forma mais flexível, ora se referindo à energia, ora à amplitude dos sinais. Neste trabalho é empregado em referência ao cálculo descrito na sequência abaixo, como meio de comparação da variação do *Loudness* entre as diferentes condições de estudo.

para valores maiores do que um *sone*, de acordo com o método Zwicker¹⁷⁹. Os valores em *phons* são, então, convertidos em valores lineares de amplitude de sinal para se calcular o percentual de perda de intensidade em relação à condição de controle. Todos os percentuais de redução de intensidade apresentados são calculados dessa forma.

3.5.2 LTAS (Long Term Average Spectrum)

A LTAS é uma ferramenta para analisar características espectrais globais de registros sonoros, fornecendo uma representação da energia espectral média de todo o sinal analisado (CAMPBELL; GREATED, 1987; JANSSON; SUNDBERG, 1975). Pode-se dizer que “[...]consiste na representação da intensidade em diferentes faixas de frequências, equivalente à média de uma série de espectros independentes de curto tempo, aplicados a uma emissão de suficiente duração” (CAMARGO, 2003 apud ESCAMEZ, 2015). É uma ferramenta amplamente utilizada em estudos fonéticos e que encontra, também, aplicações em acústica musical. Tal abordagem é bastante adequada para a presente pesquisa, que tem como um de seus objetivos a avaliação do efeito geral das surdinas nas componentes harmônicas da sonoridade do violino.

O presente estudo adotou a implementação do LTAS para a plataforma MATLAB, versões 2020a e 2022b, desenvolvida pelo *Institute of Sound Recording* da Universidade de Surrey¹⁸⁰, Inglaterra. Como a maioria das implementações existentes, ele usa FFT¹⁸¹, que pode ser pensada como um banco de filtros de largura de banda fixa, determinado pelo tamanho da janela em uso, porém, com fator de qualidade variável (a capacidade de se separar frequências distintas aumenta gradativamente da região grave para a aguda). A análise perpassa todo o arquivo de áudio, calculando os espectros de cada segmento antes de realizar uma média geral. O resultado final é um gráfico com as frequências no eixo horizontal e suas respectivas amplitudes no eixo vertical.

Foi utilizada uma janela de 4096 pontos que, com uma taxa de amostragem de 48.000 Hz, nos dá uma resolução de 11,72 Hz em torno das frequências centrais de cada filtro, adequada para representar os contornos gerais das diferentes frequências abarcadas nas

¹⁷⁹ ISO 532-1:2017(E). *Acoustics – Methods for calculating loudness – Part 1: Zwicker method. International Organization for Standardization*. Esta conversão de *sones* para *phons* se justifica pelo fato de se estar lidando com amostras semelhantes em termos de duração e extensão melódica.

¹⁸⁰ Disponível em: <https://github.com/IO-SR-Surrey/MatlabToolbox>. Acesso em: 17 jul. 2022.

¹⁸¹ *Fast Fourier Transform* (Transformada Rápida de Fourier): algoritmo desenvolvido por James William Cooley e John Wilder Tukey em 1965 (COOLEY; TUKEY, 1965), para diminuir o número de cálculos requeridos para a Transformada de Fourier, que decompõe uma função temporal em suas frequências constituintes.

amostras. Os espectros não foram normalizados, pois o estudo comparativo também envolve aspectos de intensidade sonora. A presente implementação retorna os valores de densidade de energia espectral em dBFS (*decibel full scale*), que considera o 0 como valor máximo da escala, sendo, portanto, as intensidades representadas em valores negativos ($\text{dBFS}_x = 10\log_{10}(x)$).

Dessa forma, com os parâmetros utilizados na análise espectral, a mesma cobre 11 oitavas, entre 11,7 e 24.000 Hz, gerando um total de 2049 valores para cada curva de LTAS (relativos a cada bin¹⁸²). Para fins de análise estatística foi realizada, então, uma redução de dados com o seguinte procedimento: a partir da quarta oitava foram somadas as amplitudes dos bins da análise espectral – 2 a 2 nesta oitava, 4 a 4 na quinta oitava, 8 a 8 na sexta oitava, e assim por diante até 256 a 256 na última oitava – de modo a se obter no máximo 4 valores de intensidade por oitava. Chega-se assim a 40 valores: 1 para a média do sinal do trecho em análise, 7 para a frequência fundamental de análise e seus múltiplos até a terceira oitava, 32 para as oitavas restantes. As frequências centrais de cada faixa são indicadas pela média geométrica entre o menor e o maior valor de frequência contidas em cada uma delas.

3.5.3 SMS e análise comparativa dos percentuais de participação do residual não harmônico em relação ao áudio original

O emprego da LTAS, como descrito na subseção anterior, está relacionado diretamente à análise dos componentes harmônicos da sonoridade do violino. A natureza multidimensional do timbre e sua caracterização, porém, não são completamente abarcadas apenas pela descrição harmônica:

De fato, o conceito de timbre tem sido sempre relacionado com sons de instrumentos musicais ou de voz e é neste âmbito que a maioria das pesquisas em timbre têm se desenvolvido (RISSET, 1965; GREY, 1975; GORDON e GREY, 1978; GREY, 1978; MCADAMS e BREGMAN, 1979; WESSEL, 1979; RISSET, 1991). Estes trabalhos identificaram inúmeros fatores que formam o que podemos chamar de percepção do timbre, tais como: o volume do som (intensidade percebida); o envelope de amplitude (evolução da intensidade global), cuja parte inicial (ataque) pode assumir especial importância na discriminação do timbre de um instrumento musical dependendo da duração do som; flutuações de alturas e intensidades devido a vibratos ou trêmolos;

¹⁸² A faixa de frequência coberta pela FFT é dividida em bins, cujo número é metade da resolução (número de pontos) da FFT. A largura de banda dos bins define a resolução de frequência da FFT, que fornece valores de amplitude e fase para cada bin, cuja largura de banda, expressa em hertz, pode ser calculada dividindo-se a taxa de amostragem pela resolução da FFT.

estruturas dos formantes, que assumem maior importância na percepção de sons vocais; distribuição espectral (amplitudes das frequências dos componentes espectrais); evolução temporal da distribuição espectral. Devido à característica multidimensional deste atributo, a identificação da contribuição de cada um destes fatores concorrentes tem sido a principal questão levantada por pesquisas psicoacústicas sobre a percepção do timbre, que vêm se desenvolvendo desde o início do século. (LOUREIRO; PAULA, 2006, p. 58)

Além desses fatores, os componentes não harmônicos, relacionados aos transientes, mas não se restringindo aos mesmos, constituem outro aspecto fundamental para a percepção do timbre. Elementos como o som do ar em vários instrumentos de sopro, notadamente a flauta, ou o ruído de “raspado” da crina do arco na corda, nos instrumentos de cordas friccionadas, permanecem, em maior ou menor medida, após o ataque inicial e são percebidos auditivamente como componentes relevantes do seu timbre, essenciais, por exemplo, na modelagem sonora que pretenda reproduzir com maior fidelidade o som de tais instrumentos (BONADA et al, 2011).

Nessa perspectiva, para se obter uma melhor compreensão da natureza das alterações produzidas na sonoridade do violino pelo uso de surdinas, considerou-se relevante avaliar também, seu impacto nos elementos não harmônicos que compõem o todo da sonoridade do instrumento. Mesmo considerando-se que a natureza da amostragem, constituída por glissandos contínuos, não privilegie a coleta dos elementos transientes (embora cada amostra contenha 32 ataques de arco, metade para baixo e metade para cima), a presença de elementos não harmônicos, notadamente, o “raspado” da crina do arco na corda e, também, o deslocamento do dedo nas cordas durante a execução dos glissandos, é contínua. Levando-se em consideração que o uso das surdinas impacta diretamente nos componentes harmônicos (distribuição espectral) do som dos instrumentos, considerou-se que a simples alteração da proporção de participação entre os componentes harmônicos e não harmônicos no todo da sonoridade dos instrumentos pode fornecer elementos consistentes na diferenciação e entendimento dos efeitos das distintas surdinas, além da possibilidade do próprio uso dos dispositivos alterar diretamente a geração dos elementos não harmônicos.

Para essa avaliação empregou-se a Síntese por Modelagem Espectral (conhecida por sua sigla em inglês – *Spectral Modeling Synthesis*), proposta por Xavier Serra e Julius Smith em 1990 (SERRA; SMITH, 1990), que consiste na decomposição do sinal de áudio em uma parte determinística e outra estocástica. Assumindo-se que o sinal é constituído por esses dois componentes, considera-se que a parte determinística é a soma de componentes senoidais

harmônicas, onde cada senoide corresponde a um componente do som original, descrito por uma função de amplitude e frequência (implementado por meio de FFT). A parte estocástica compreende porções não senoidais do sinal, ruídos em geral, os transientes e outros componentes não harmônicos do som:

$$s(t) = \sum_{r=1}^R A_r(t) \cos [\theta_r(t)] + e(t)$$

onde $A(t)$ e $\theta(t)$ são a amplitude e fase instantâneas de cada senoide r e $e(t)$ o componente de ruído no tempo t , em segundos (SERRA; SMITH, 1990).

A parte estocástica pode ser obtida de maneira simplificada pela subtração no áudio original da parte determinística resultando no residual não-harmônico. A subtração pode ser feita tanto no domínio do tempo quanto no da frequência. Para a abordagem pelo domínio do tempo é necessário que as fases do áudio original sejam preservadas na síntese do sinal, sendo computacionalmente mais pesada. Já para a abordagem pelo domínio da frequência a subtração pode ser realizada diretamente através do espectro de magnitude, sendo, geralmente, computacionalmente mais simples. Para tanto, a parte determinística deve ser sintetizada gerando uma representação de senoides estacionárias obtida a partir da análise harmônica, para então proceder-se à subtração (BONADA et al., 2011). A parte estocástica é representada pela estimação do espectro da diferença entre o sinal original e a parte determinística, e sua síntese é feita por meio de filtragem por ruído branco.

O SMS foi implementado por meio da plataforma MATLAB, versões 2020a e 2022b, através de abordagem pelo domínio da frequência, descrita em detalhes em *DAFX Digital Audio Effects* (BONADA et al., 2011) e utilizando os códigos fornecidos na mesma publicação. Os parâmetros principais adotados para o código *hprmodel.m* (BONADA et al., 2011, p. 417), que retorna os componentes harmônicos e residuais como sinais separados, além da ressíntese integral, foram: a janela de análise com filtro *blackmanharris* de 1024 pontos, resolução da FFT de 4096 pontos, e utilização máxima de 40 harmônicos.

Para comparar-se o impacto do uso das surdinas nos residuais extraídos das amostras foi adotada a estratégia de se calcular o valor RMS do sinal residual de uma dada amostra e compará-lo ao RMS da ressíntese integral da mesma amostra, chegando-se assim a um percentual de participação dos residuais nos respectivos sons originais. Nesse cálculo, é necessário comparar a energia dos sinais (sinal elevado ao quadrado), de acordo com o teorema de Parseval. Dessa forma foi possível uma análise comparativa, entre as diferentes condições

de estudo, do impacto que o uso de surdinas distintas ocasionou no percentual de participação dos residuais não-harmônicos em relação aos áudios originais.

3.6 Processamento de dados

Diante da grande quantidade de amostras coletada para a pesquisa, foram definidas diferentes formas de processamento da informação extraída dos registros de áudio, de maneira a reduzir os dados a valores de tendência central que representem o comportamento geral dos instrumentos analisados nas diferentes condições de estudo, assim possibilitando a análise comparativa proposta.

Para o processamento dos dados relativos à *loudness* de cada corda, os áudios foram segmentados glissando por glissando, ou seja, cada amostra resultou em 32 excertos (oito de cada corda) para a extração dos valores em *sones* de cada glissando. Esses valores foram, em seguida, convertidos em *phons* (unidade logarítmica) e então transformados em unidades lineares relativas à amplitude de sinal. Esses valores, de cada glissando, de todas as amostras de uma dada condição de estudo, foram, por fim, agrupados por corda para se obter médias aritméticas dos mesmos. Assim, para a condição de controle, a média de cada corda é feita a partir de 384 glissandos (extraídos de 48 *takes*), executados nos dois violinos pelos quatro sujeitos (seis *takes* cada executante). Para as demais condições de estudo, a média de cada corda é obtida a partir de 96 glissandos (extraídos de 12 *takes*) executados nos dois violinos por três dos sujeitos (dois *takes* cada executante). Essas médias, ainda em unidades lineares, são utilizadas para se calcular o percentual de redução de intensidade das demais condições de estudo em relação à condição de controle (vide subseção 3.5.1). Após esse cálculo os valores são reconvertidos pelo processo inverso a *sones*, que representam, então, a intensidade média de todos os *takes* de cada condição de estudo para cada corda. Para o processamento da *loudness* das amostras completas (representativa das alterações de intensidade médias no conjunto do instrumento), empregou-se valores em *sones* relativos a cada *take* inteiro, que foram, então, submetidos ao mesmo processo: convertidos para *phons* e, em seguida, para unidades lineares, possibilitando assim a elaboração das médias de cada condição de estudo, com os respectivos cálculos de alteração de intensidade de cada condição de estudo em relação à condição de controle. Ao final, essas médias são, também, reconvertidas para valores em *sones*, relativas a cada condição de estudo. Como medida de dispersão dos dados de intensidade coletados, foi calculado o desvio padrão, a partir dos valores em *phons*, do total de glissandos de cada condição de estudo.

Para o processamento da LTAS, os valores de densidade de energia espectral foram, também, convertidos em unidades lineares, para o agrupamento dos dados dos diferentes *takes* de cada condição de estudo, sem segmentação das amostras por glissandos ou corda¹⁸³. Devido às grandes diferenças de amplitude representadas em dBs ao longo da faixa de frequência analisada (0 a 24.000 Hz) optou-se por utilizar como medida de tendência central a mediana, pois, a média aritmética pode ser afetada demasiadamente por valores extremos (MORETTIN; BUSSAB, 2017). Após a operação, os valores são reconvertidos para o dBFS, originalmente empregado pelo código utilizado, para a elaboração dos gráficos com as medianas das curvas de LTAS ou da diferença entre as medianas de LTAS das demais condições de estudo e a condição de controle. Como medida de dispersão dos dados de LTAS analisados foi adotado o uso dos valores do terceiro e primeiro quartis¹⁸⁴, como uma simplificação do *box plot*¹⁸⁵, no qual o retângulo em posição vertical com uma subdivisão horizontal interna representa: o lado superior, o terceiro quartil; a divisão interna, a mediana (segundo quartil); e o lado inferior, o primeiro quartil. Assim foram criadas barras de erro, bin a bin, com os valores do terceiro quartil acima da curva representada pela mediana e os valores do primeiro quartil abaixo da mesma, tanto para os gráficos de curvas de LTAS quanto para os gráficos que representam a diferença entre as medianas da LTAS da condição de controle e das demais condições de estudo.

Em relação ao SMS, os dados extraídos de cada amostra (RMS do residual não harmônico e RMS da ressíntese integral) foram segmentados por corda, sendo todos os *takes* de cada condição de estudo então agrupados, por corda e pelo conjunto da amostra (para mensuração da participação do residual não harmônico no instrumento inteiro), sendo, então, feito o cálculo da média aritmética do residual não harmônico e da ressíntese de cada condição de estudo. Com tais médias é calculado a participação do residual não harmônico na ressíntese integral conforme descrito na seção 3.5.3. Como medida de dispersão dos dados relativos aos residuais não harmônicos, foi calculado o desvio padrão, a partir dos valores das médias do

¹⁸³ Foi verificado haver muito pouca diferenciação nas curvas LTAS de excertos segmentados, seja por glissandos e mesmo por cordas, não tendo sido considerado necessário tal procedimento para apresentação dos resultados gerais; em caso de alguma necessidade específica, procedimento diferente para obtenção de LTAS será relatado pontualmente.

¹⁸⁴ Quartis são valores que dividem uma amostra de dados em quatro partes iguais: 1º quartil (25% dos dados são menores ou iguais a este valor), 2º quartil, denominado mediana (50% dos dados são menores ou iguais a este valor) e 3º quartil (75% dos dados são menores ou iguais a este valor).

¹⁸⁵ O *box plot* completo é uma representação gráfica que dá uma ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes. Os dados representados apenas no retângulo central (sem os limites superior e inferior e pontos exteriores) indicam a posição central, dada pela mediana, e a dispersão, representada pelo valor compreendido entre o terceiro e o primeiro quartis, fornecendo uma noção da assimetria da distribuição (MORETTIN; BUSSAB, 2017, p. 73).

RMS convertidos para dBs dos residuais não harmônicos, do total de valores relativos a cada corda e do conjunto do instrumento de cada condição de estudo.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os dados relativos às 32 condições de estudo amostradas na pesquisa e analisados os resultados obtidos. Como o objetivo principal da parte analítica do projeto é obter, por meio de um estudo comparativo, uma visão geral das alterações provocadas pelo uso das diferentes surdinas na sonoridade original dos violinos, descritas por meio de dados objetivos, os resultados apresentados são relativos sempre às médias ou medianas totais de todos os takes registrados por três sujeitos executantes, nos dois violinos, para cada condição de estudo, com exceção da condição de controle, para a qual os quatro executantes participantes da amostragem registraram seis takes com cada instrumento. Ou seja, como descrito anteriormente (seção 3.4), as medidas de tendência central da condição de controle são relativas aos dados de 48 takes (contando os dois violinos) sem o uso de surdina, e as de cada uma das demais 31 condições de estudo, com o uso de diferentes surdinas e configurações de uso, relativas aos dados de 12 takes cada (contando os dois violinos). Dados de diferentes agrupamentos de amostras, eventualmente utilizados na discussão de resultados, serão sempre especificados.

Nas subseções 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4 são apresentados os resultados da condição de controle e das 14 condições de estudo que analisaram surdinas originais em uma única configuração. Os dispositivos que possibilitam a utilização em mais de uma posição foram amostrados sempre na posição central, entre as cordas Ré e Lá, por ser a mais comum, e com o contato máximo com o cavalete, quando as surdinas possibilitarem diferentes áreas de contato com o mesmo¹⁸⁶. Nas subseções 4.1.5, 4.1.6 e 4.1.7 são apresentados os resultados das demais 17 condições de estudo desenvolvidas nas *Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas* (seção 3.3).

Para os dados da condição de controle é apresentada uma tabela com as médias dos valores de *loudness* e a média dos percentuais de participação do residual não-harmônico obtidos por meio do SMS, com os respectivos desvios padrão, para cada corda e para a amostra inteira. Na sequência, há dois gráficos com as curvas LTAS das medianas da condição de controle, o primeiro abarcando a faixa completa de frequências analisadas e o segundo a faixa entre 190 Hz e 2.000 Hz, que compreende as frequências fundamentais dos sons amostrados. Para as demais condições de estudo são apresentadas as imagens dos dispositivos utilizados em

¹⁸⁶ Somente a primeira surdina da listagem (sdBor1), é posicionada no cavalete diretamente sobre cada corda, e não entre cada par de cordas, possibilitando, portanto, quatro posições de uso; foi aqui amostrada com a utilização sobre a corda Ré.

tamanho real (Figs. 4.1 a 4.31), com suas características básicas (material de construção, medidas e peso) novamente listadas, para facilitar sua identificação e caracterização.

São apresentadas então, para cada condição de estudo, uma tabela com as médias dos valores de *loudness* aferidos, os percentuais de redução de intensidade e os percentuais de participação do residual não-harmônico obtidos por meio do SMS, com os respectivos desvios padrão, para cada corda e para a amostra inteira. Para permitir uma melhor percepção das alterações provocadas pelos dispositivos, os dados da condição de controle são incluídos como referência antes dos de cada condição de estudo nas tabelas.

Na sequência são apresentados quatro gráficos com a diferença das medianas da LTAS com o uso dos dispositivos em relação à mediana da condição de controle: o primeiro (a) apresenta toda a extensão analisada; o segundo (b), a faixa de 190 Hz a 800 Hz, início das frequências analisadas e faixa de grande interesse, por sofrer importantes alterações provocadas pelo uso das surdinas (transferência de energia para as baixas frequências); o terceiro (c) a faixa de 1.500 Hz a 4.000 Hz, que compreende a região do *bridge hill*¹⁸⁷; e o quarto (d), onde são representadas faixas específicas de interesse de cada dispositivo. Por fim, um gráfico com o percentual de redução de intensidade das médias de cada condição de estudo em relação à média da condição de controle, também, para cada corda e para a amostra inteira.

Na subseção seguinte é desenvolvida a análise dos resultados, com considerações a respeito de todo o processo de amostragem, em suas várias facetas, e discutidos os resultados obtidos em relação ao entendimento do mecanismo de ação das surdinas, buscando relacionar o mesmo à natureza física dos diferentes tipos de dispositivos e suas múltiplas configurações de uso.

¹⁸⁷ Vide seção 1.5.5.

4.1 Dados obtidos nas 32 condições de estudo analisadas

4.1.1 Condição de controle (sem utilização de nenhum tipo de surdina)

Tabela 4.1: Médias dos *Loudness*, com os respectivos desvios padrão, e da média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle.

| condição de controle | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| desvio padrão * | 1,47 | 1,56 | 1,46 | 1,55 | 1,17 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| desvio padrão | 4,14 | 1,95 | 2,45 | 2,05 | 2,57 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.1 – Curva LTAS da mediana da condição de controle de 0 a 24 kHz.

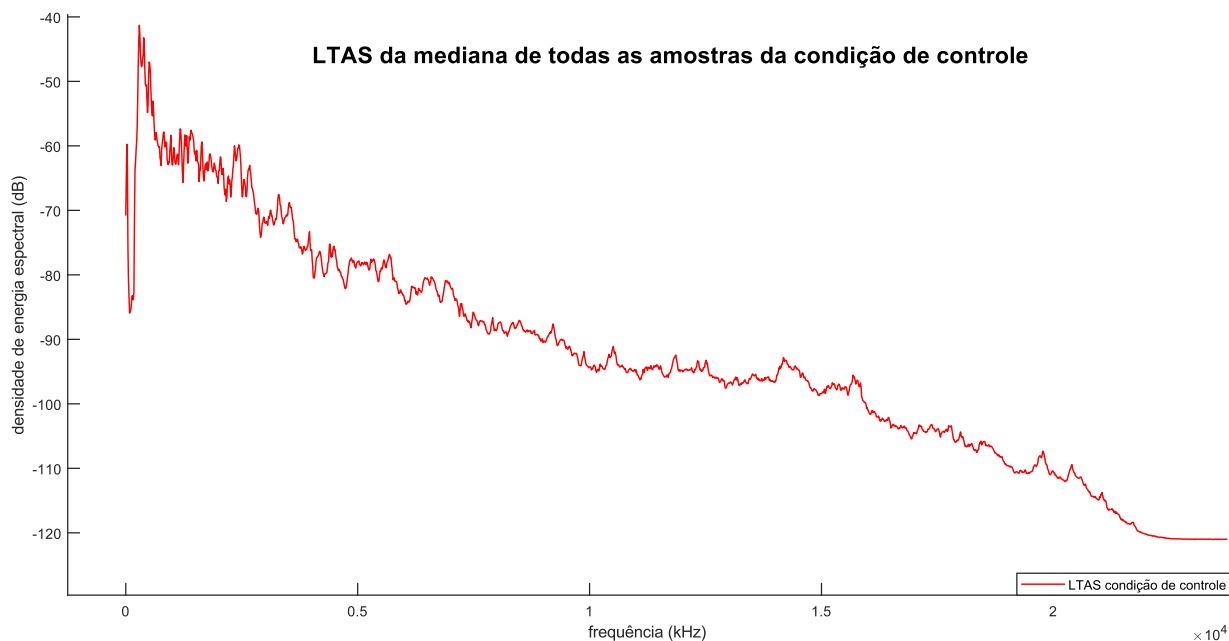
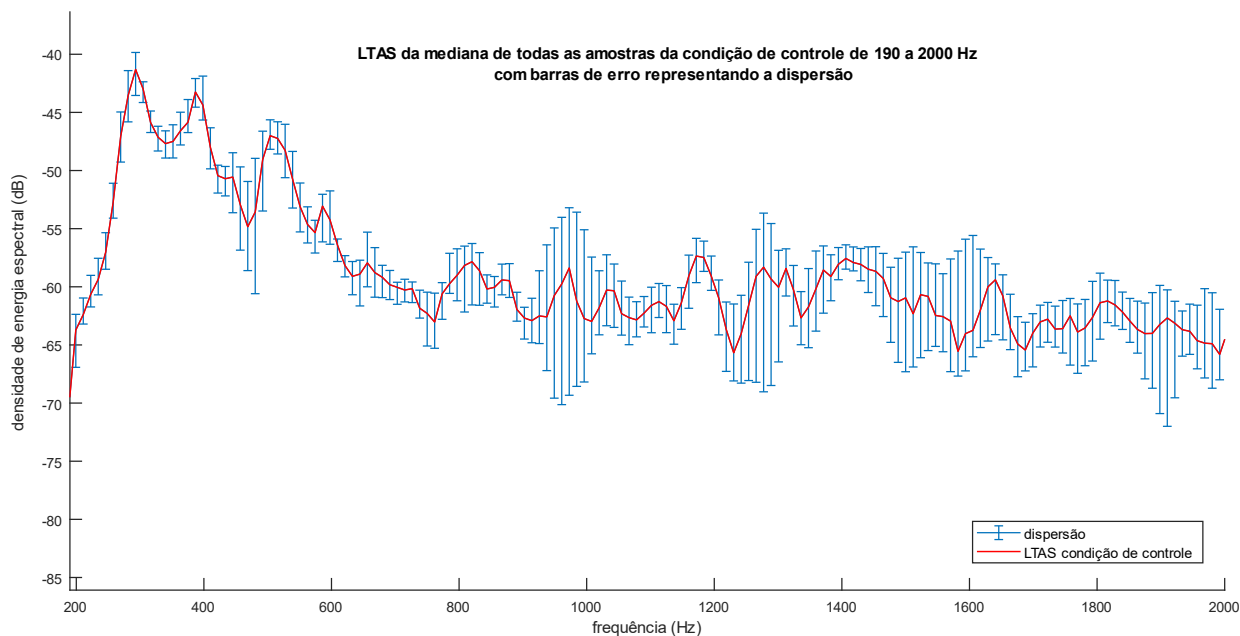


Gráfico 4.2 – Curva LTAS da mediana da condição de controle de 190 a 2.000 Hz, com barra de erro relativa à dispersão dos dados (faixa das frequências fundamentais amostradas)¹⁸⁸.



¹⁸⁸ Em todos os gráficos relativos à LTAS ou à diferença entre curvas de LTAS, as barras de erro representam a dispersão dos dados, como explicado na subseção 3.6.

4.1.2 Surdinas de performance fixadas ao cavalete

4.1.2.1 Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)

- borracha flexível; 1,6 cm x 2,6 cm x 0,8 cm; 1,92 gramas;

Figura 4.1 – Surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1)



(fonte: imagem própria)

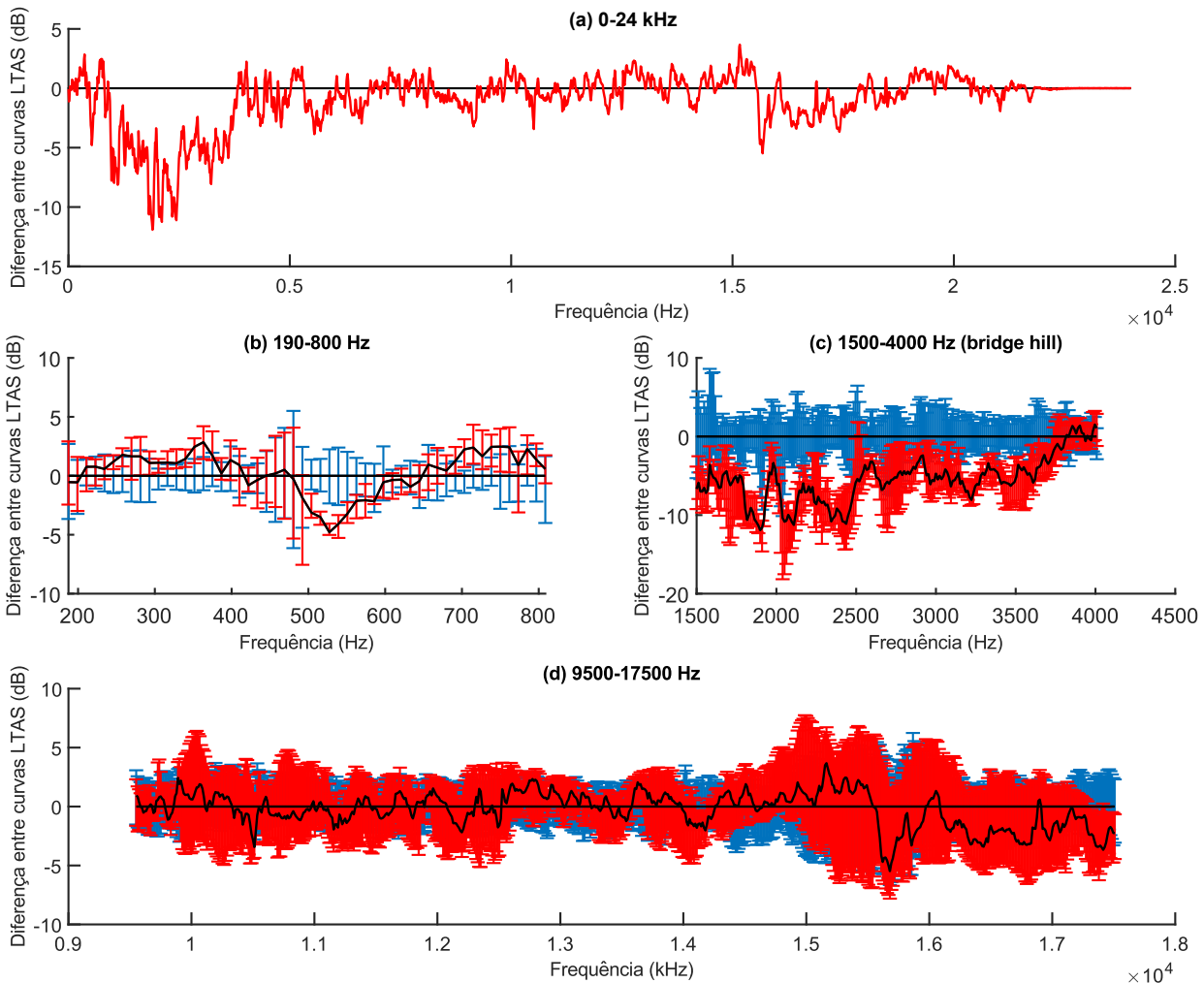
Tabela 4.2: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdBor1 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdBor1 | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdBor1 | 33,61 | 29,24 | 24,45 | 23,90 | 31,32 |
| % redução de intensidade * | 14,6% | 24,8% | 33,0% | 26,9% | 21,3% |
| desvio padrão * | 1,14 | 1,29 | 1,57 | 1,78 | 1,13 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdBor1 | 0,62 | 0,34 | 5,09 | 4,90 | 0,47 |
| desvio padrão | 3,70 | 1,29 | 3,85 | 1,76 | 1,04 |

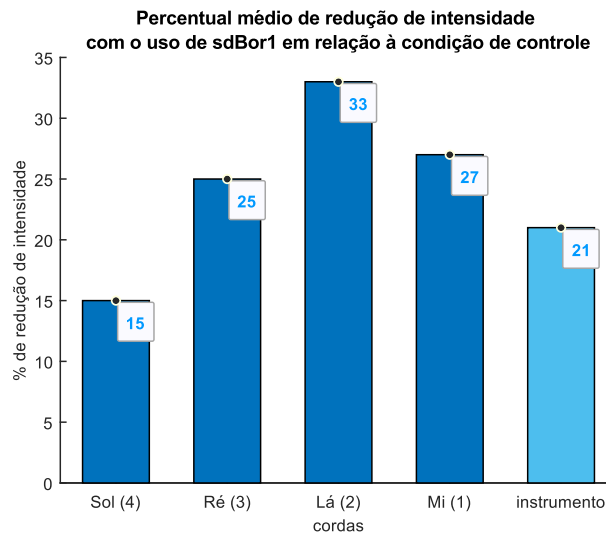
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.3 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de borracha com um furo e um dente (sdBor1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de sdBor1



(e)



4.1.2.2 Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2)

- borracha flexível; 1,9 cm (diâmetro) x 0,8 cm; 1,85 gramas;

Figura 4.2 – Surdina de borracha com dois furos e um dente (sdBor2).



(fonte: imagem própria)

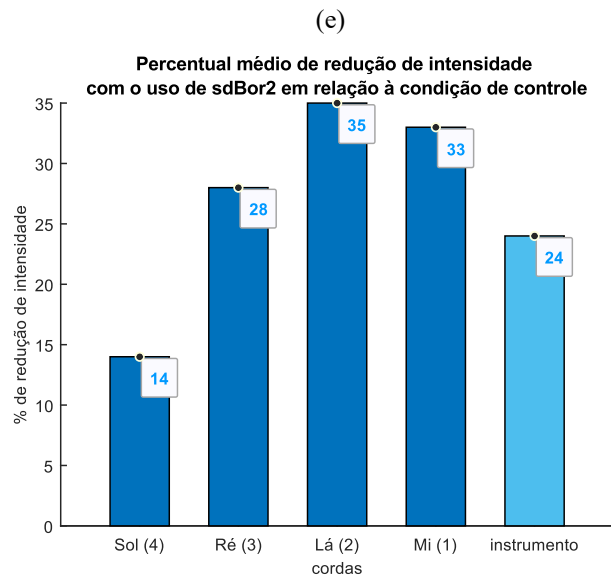
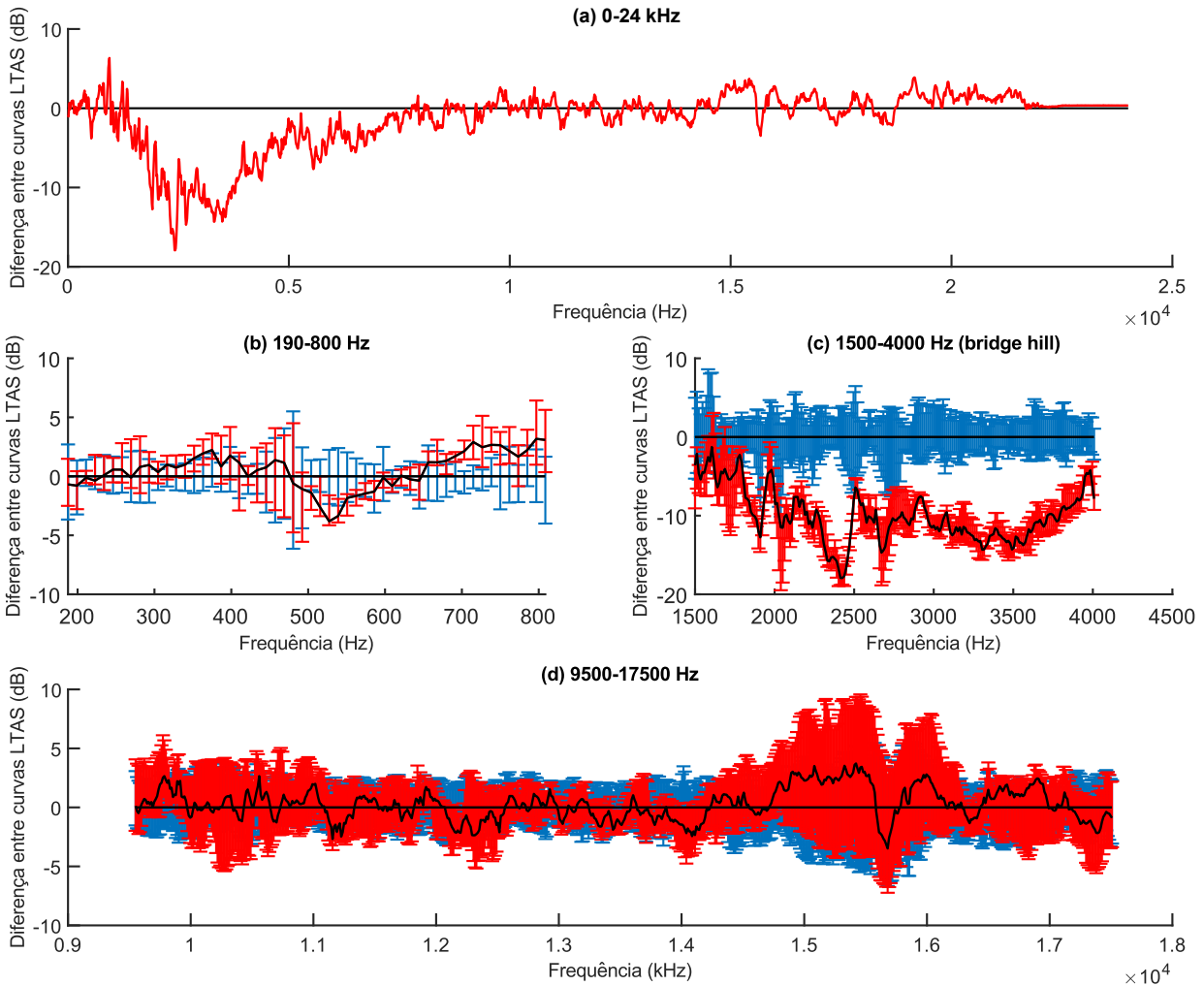
Tabela 4.3: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdBor2 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdBor2 | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdBor2 | 33,73 | 28,57 | 24,09 | 22,70 | 30,73 |
| % redução de intensidade * | 14,0% | 27,6% | 34,7% | 32,9% | 23,8% |
| desvio padrão * | 1,41 | 1,23 | 1,30 | 1,67 | 1,19 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdBor2 | 0,45 | 0,83 | 2,36 | 4,26 | 0,68 |
| desvio padrão | 3,34 | 5,37 | 2,94 | 2,37 | 3,57 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.4 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de borracha com um furo e dois dentes (sdBor2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de sdBor2



4.1.2.3 *Surdina Heifetz (sdHfz)*

- metal revestido de borracha; 1,2 cm x 1,6 cm x 0,9 cm; 2,56 gramas;

Figura 4.3 – Surdina Heifetz com um dente (sdHfz).



(fonte: imagem própria)

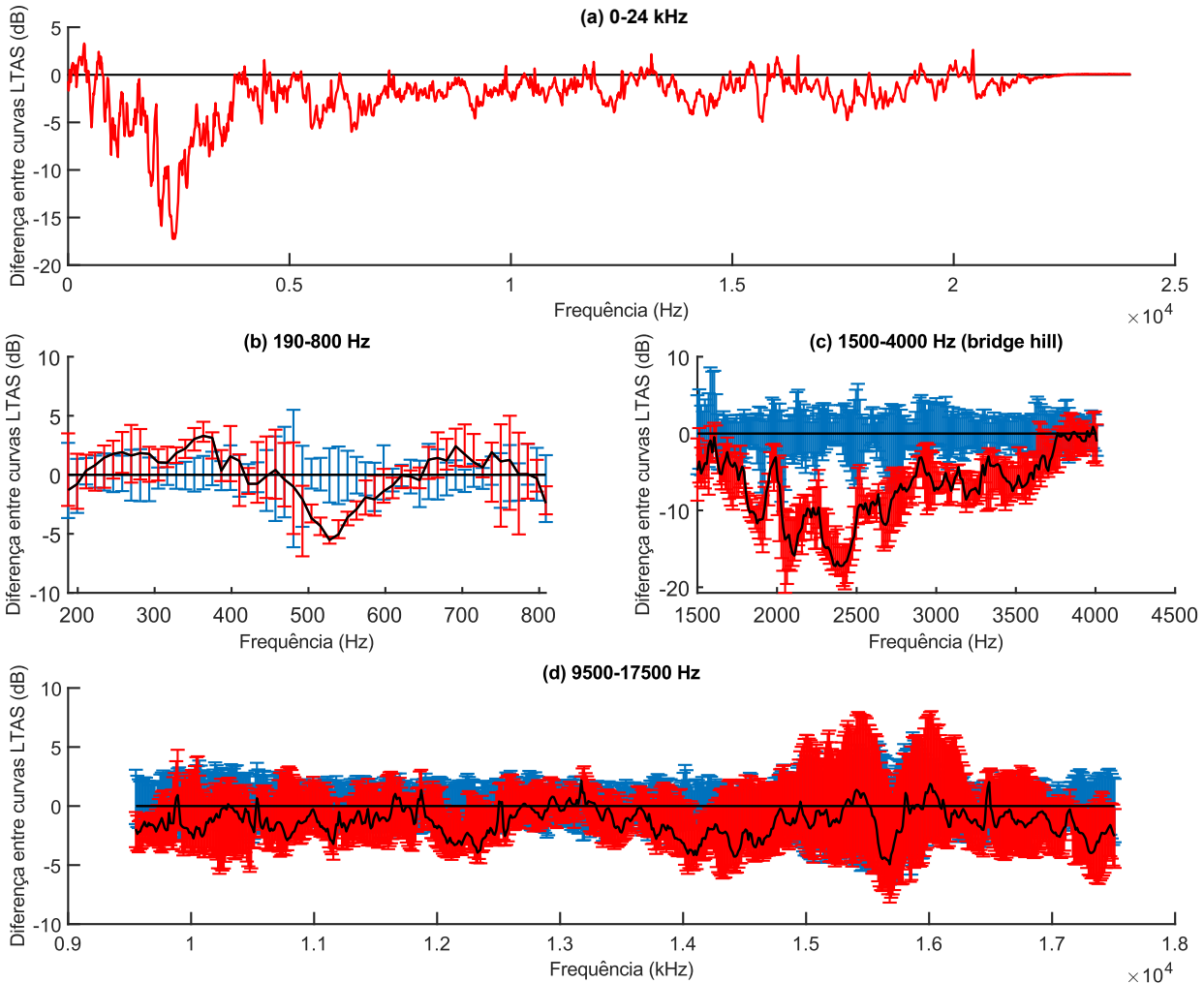
Tabela 4.4: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdHfz (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdHfz | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdHfz | 33,52 | 28,06 | 23,41 | 22,23 | 30,22 |
| % redução de intensidade * | 14,9% | 29,8% | 37,7% | 35,2% | 25,9% |
| desvio padrão * | 1,26 | 1,15 | 1,37 | 1,64 | 0,96 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdHfz | 0,38 | 0,35 | 3,11 | 4,45 | 0,44 |
| desvio padrão | 2,78 | 1,72 | 2,84 | 1,71 | 1,10 |

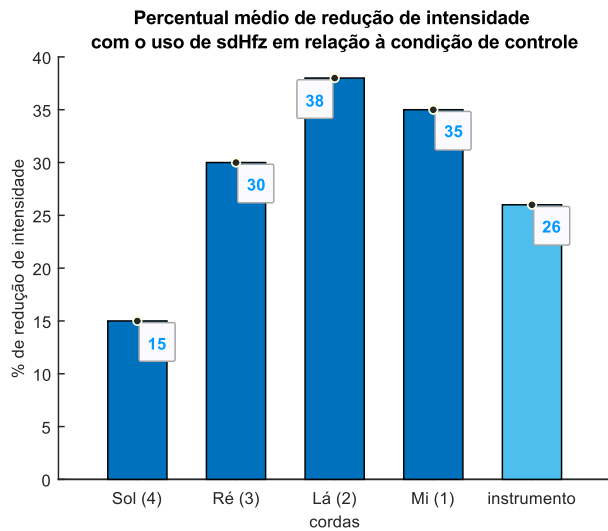
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.5 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Heifetz (sdHfz) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 9.500-17.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de sdHfz



(e)



4.1.2.4 *Surdina de ébano menor com três dentes (sdEbpq)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm; 6,44 gramas;

Figura 4.4 – Surdina de ébano menor (sdEbpq).



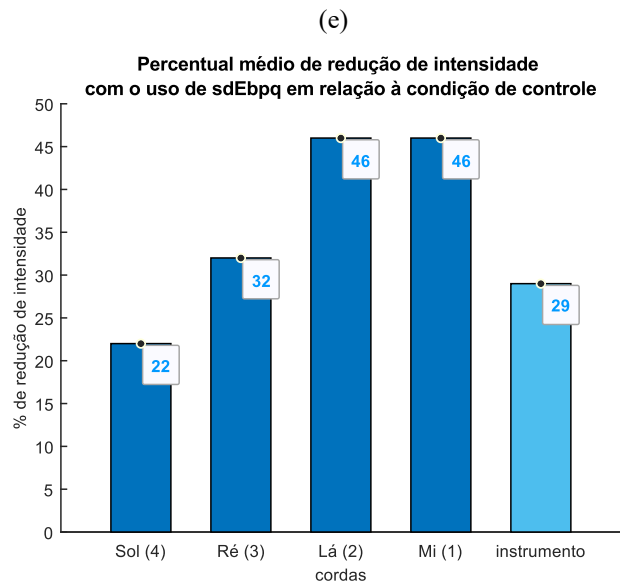
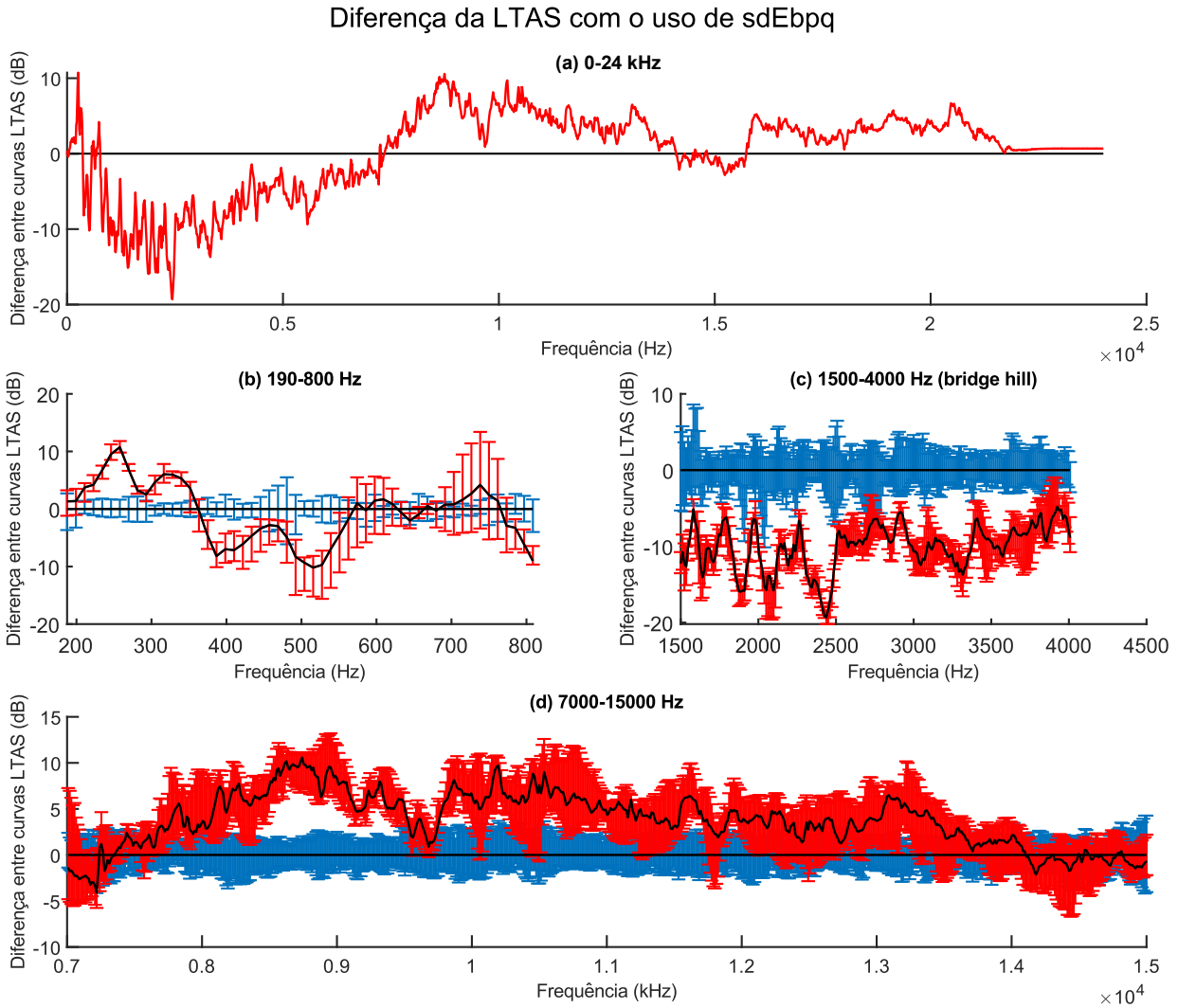
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.5: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbpq (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEbpq | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbpq | 31,92 | 27,47 | 21,45 | 19,88 | 29,57 |
| % redução de intensidade * | 21,6% | 32,2% | 46,1% | 46,1% | 28,5% |
| desvio padrão * | 1,27 | 1,12 | 1,59 | 2,22 | 0,86 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| desvio padrão | 2,77 | 1,23 | 2,74 | 1,89 | 1,43 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.6 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com três dentes (sdEbpq) em relação à mediana da condição de controle (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.2.5 *Surdina de ébano maior com três dentes (sdEbgd)*

- ébano; 1,6 cm x 2,6 cm x 1,2 cm; 8,38 gramas;

Figura 4.5 – Surdinas de ébano maior (sdEbgd).



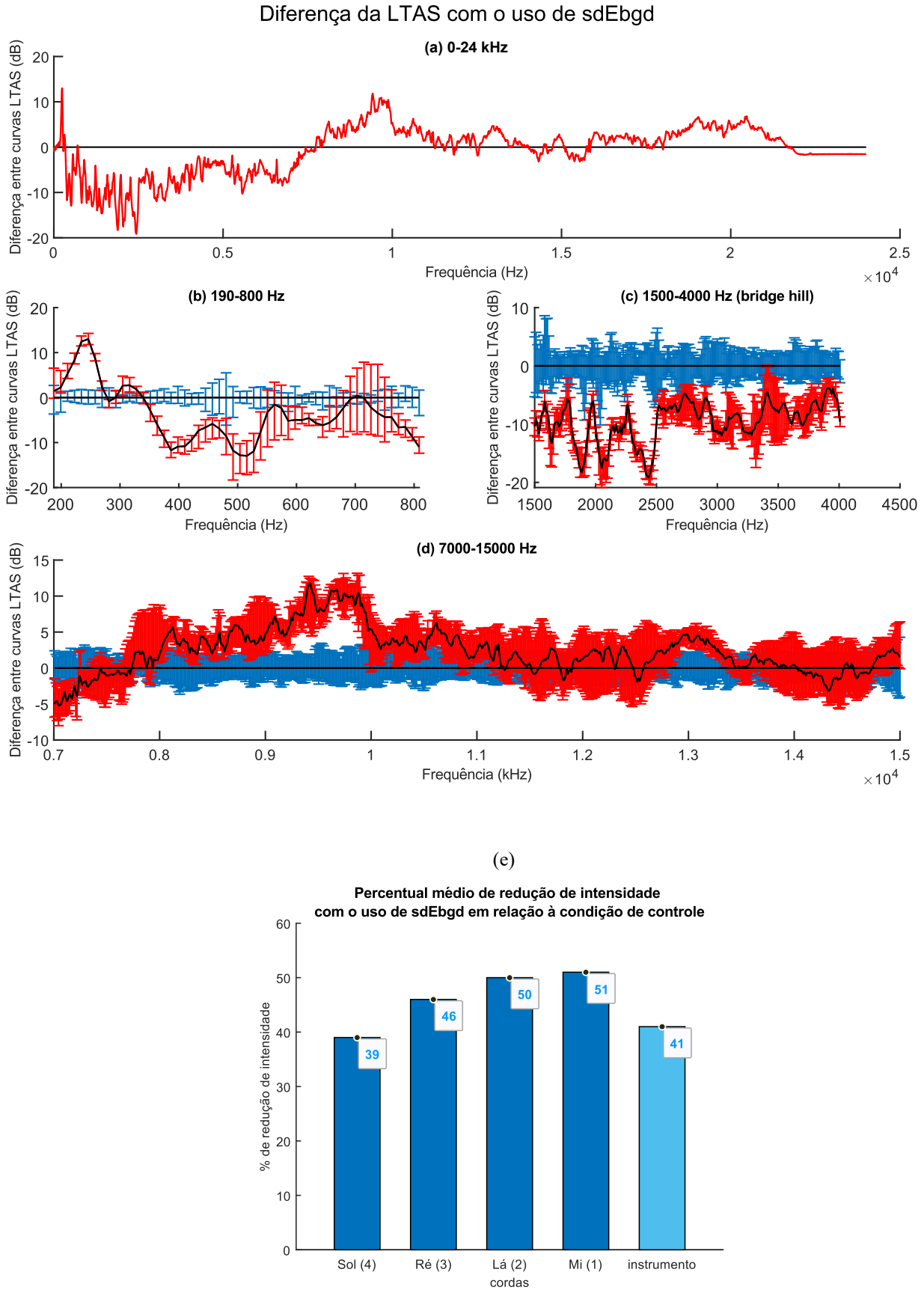
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.6: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbgd (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEbgd | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbgd | 27,33 | 24,03 | 20,58 | 18,74 | 26,34 |
| % redução de intensidade * | 39,4% | 45,7% | 49,7% | 51,2% | 41,0% |
| desvio padrão * | 1,05 | 1,27 | 2,12 | 1,66 | 0,79 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbgd | 0,43 | 0,56 | 9,95 | 8,86 | 0,73 |
| desvio padrão | 1,43 | 1,11 | 3,98 | 1,35 | 0,63 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.7 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano maior com três dentes (sdEbgd) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.2.6 *Surdina de madeira leve com três dentes (sdMd)*

- madeira leve; 2,2 cm x 2,2 cm x 1,2 cm; 3,30 gramas;

Figura 4.6 – Surdina de madeira leve com três dentes (sdMd).



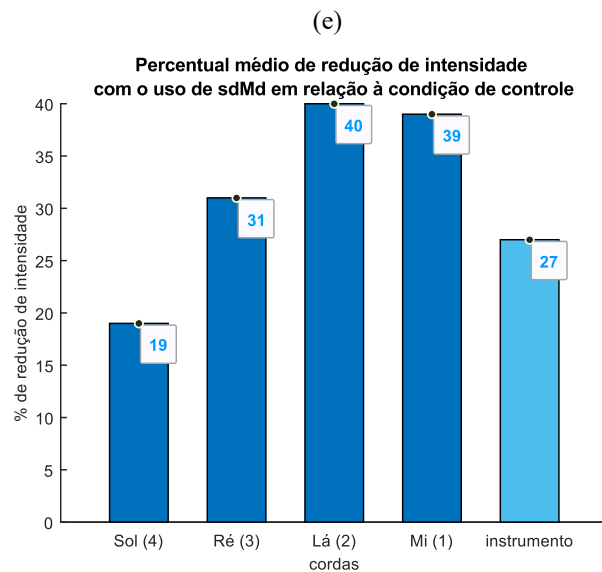
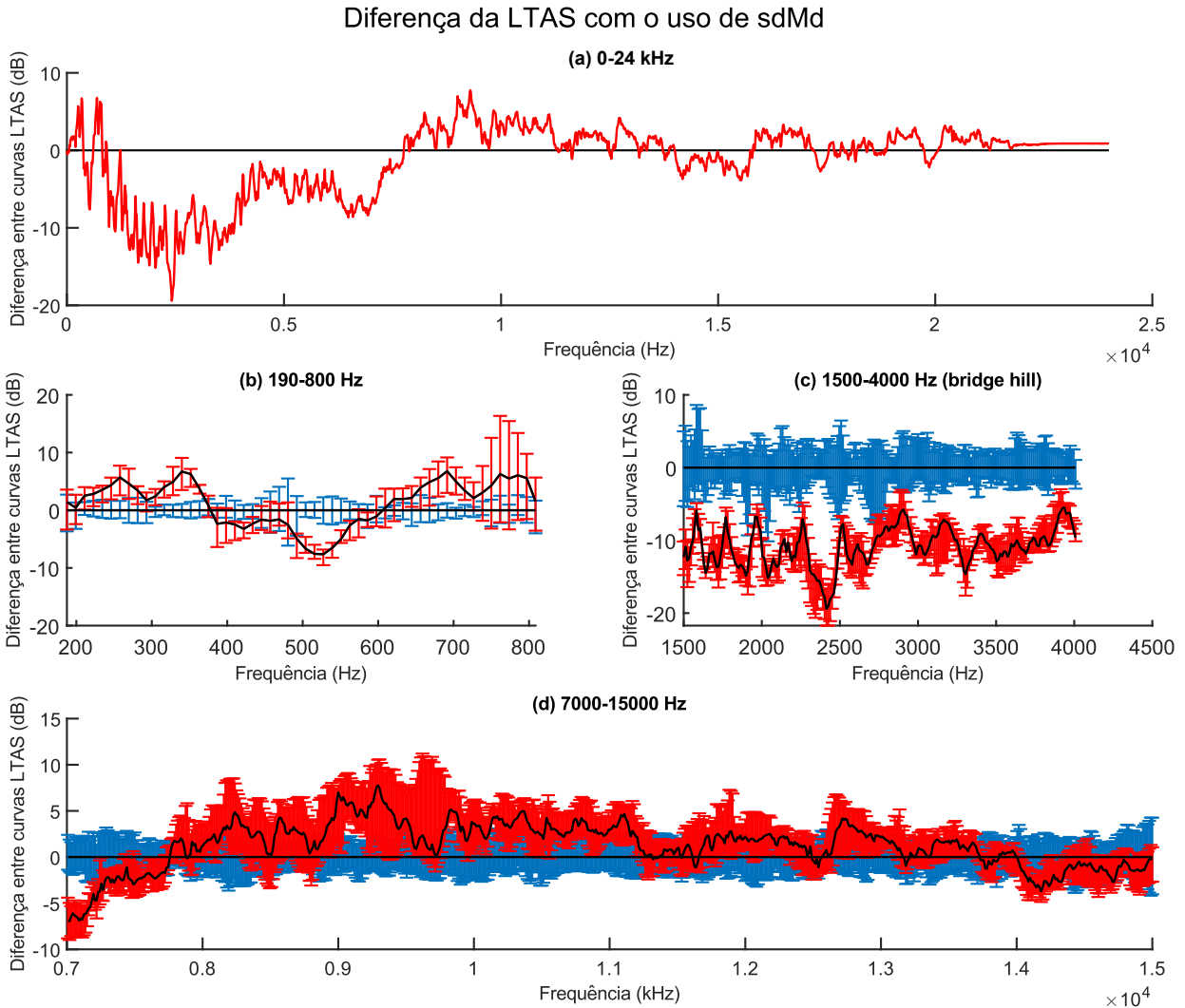
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.7: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdMd (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdMd | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdMd | 32,45 | 27,87 | 22,87 | 21,34 | 29,91 |
| % redução de intensidade * | 19,4% | 30,5% | 40,1% | 39,4% | 27,1% |
| desvio padrão * | 1,49 | 1,77 | 1,59 | 1,79 | 1,38 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdMd | 0,34 | 0,36 | 4,74 | 3,62 | 0,49 |
| desvio padrão | 3,00 | 1,87 | 4,41 | 0,90 | 1,92 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.8 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de madeira leve com três dentes (sdMd) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.3 Surdinas de performance fixadas às cordas

4.1.3.1 Surdina tubular Sihon (sdCdTb)

- metal cromado e material sintético; 2,7 cm x 1,8 cm x 0,3 cm; 1,48 gramas;

Figura 4.7 – Surdina tubular (sdCdTb).



(fonte: imagem própria)

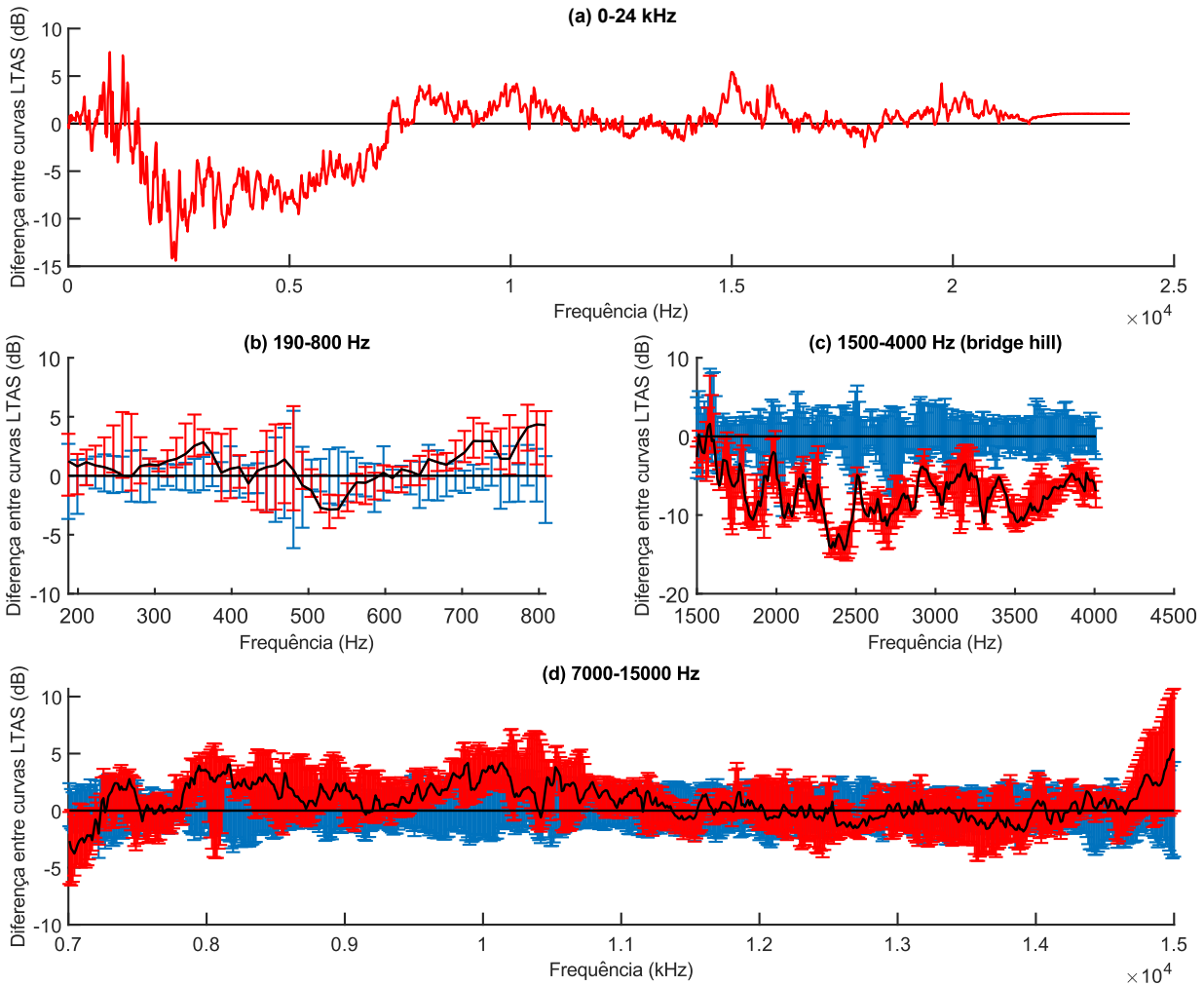
Tabela 4.8: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdCdTb (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdCdTb | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdCdTb | 34,61 | 30,23 | 25,69 | 24,08 | 31,99 |
| % redução de intensidade * | 10,3% | 20,5% | 27,3% | 25,9% | 18,5% |
| desvio padrão * | 1,40 | 1,24 | 1,37 | 1,54 | 1,11 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdCdTb | 0,49 | 0,45 | 1,83 | 5,28 | 0,46 |
| desvio padrão | 3,42 | 2,38 | 2,83 | 3,26 | 1,73 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

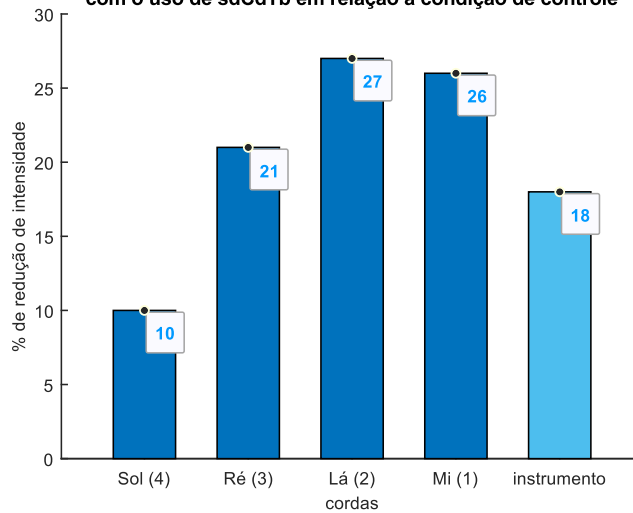
Gráfico 4.9 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina tubular Sihon (sdCdTb) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de sdCdTb



(e)

Percentual médio de redução de intensidade com o uso de sdCdTb em relação à condição de controle



4.1.3.2 *Surdina Spector (sdCdSp)*

- borracha rígida; 1,4 cm x 1,8 cm x 0,9cm; 1,45 gramas;

Figura 4.8– Surdina Spector (sdCdSp).



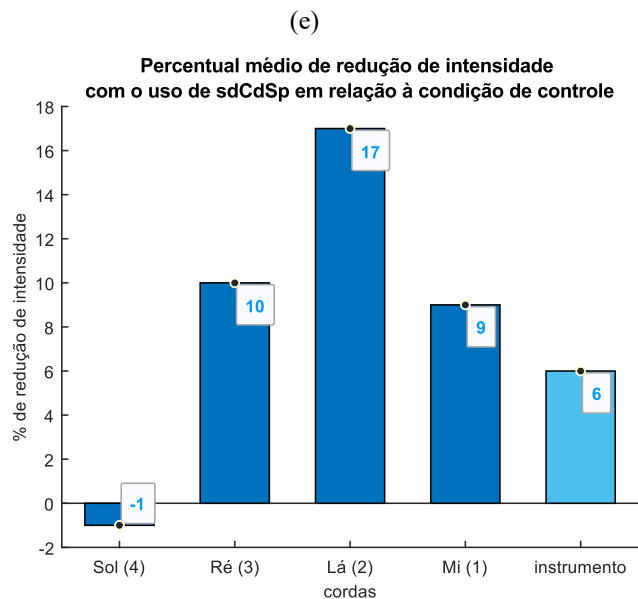
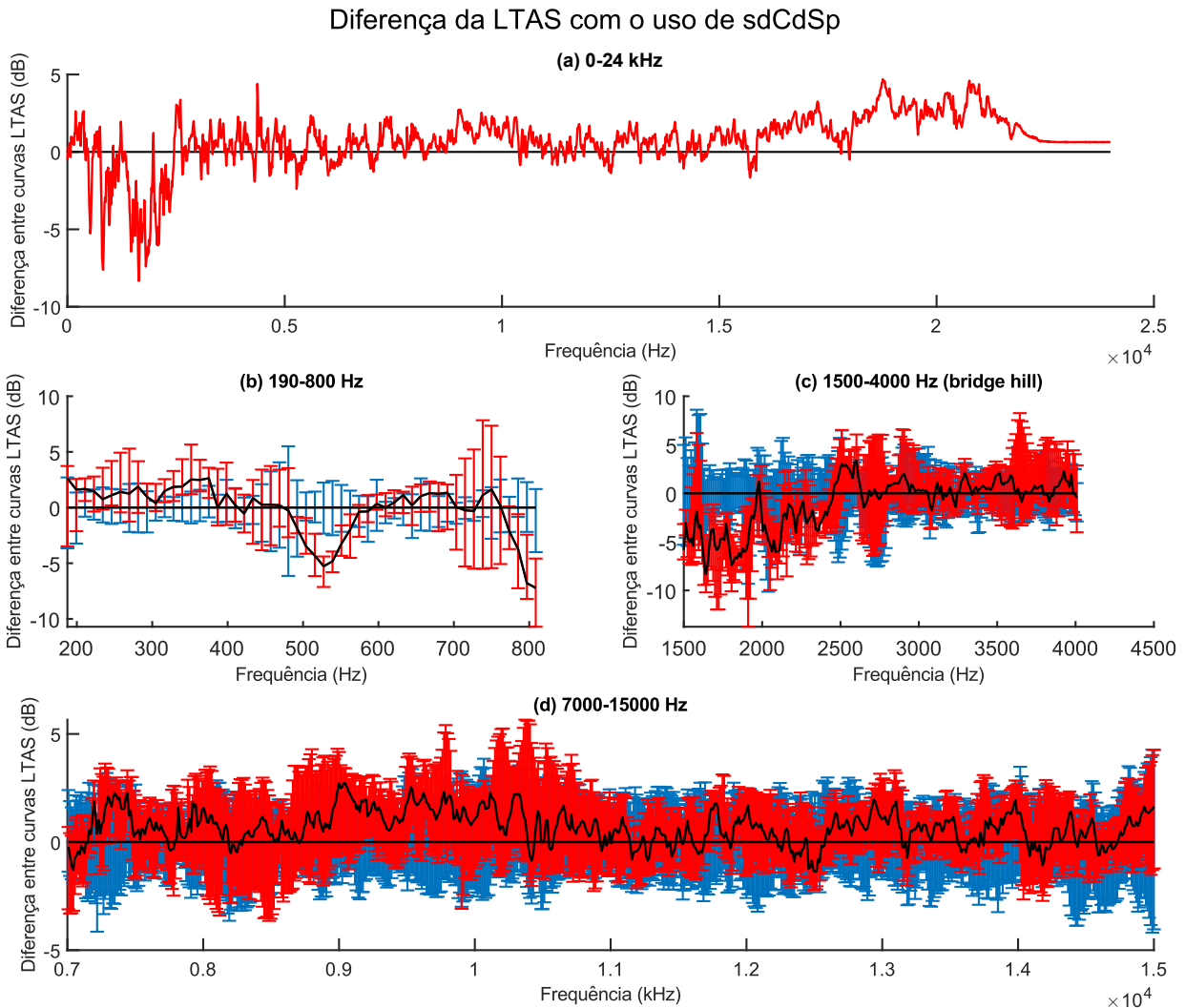
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.9: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdCdSp (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdCdSp | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdCdSp | 37,18 | 32,51 | 27,74 | 27,29 | 34,76 |
| % redução de intensidade * | -1,1% | 10,3% | 17,4% | 8,8% | 6,5% |
| desvio padrão * | 1,59 | 1,49 | 1,29 | 1,49 | 1,24 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdCdSp | 0,30 | 0,46 | 4,05 | 5,45 | 0,54 |
| desvio padrão | 1,93 | 2,49 | 3,01 | 2,72 | 1,50 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.10 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Spector (sdCdSp) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.3.3 *Surdina Alpine (sdCdAp)*

- plástico e metal; 2,0 cm x 2,2 cm x 0,7cm; 3,72 gramas;

Figura 4.9 – *Surdina Alpine (sdCdAp)*.



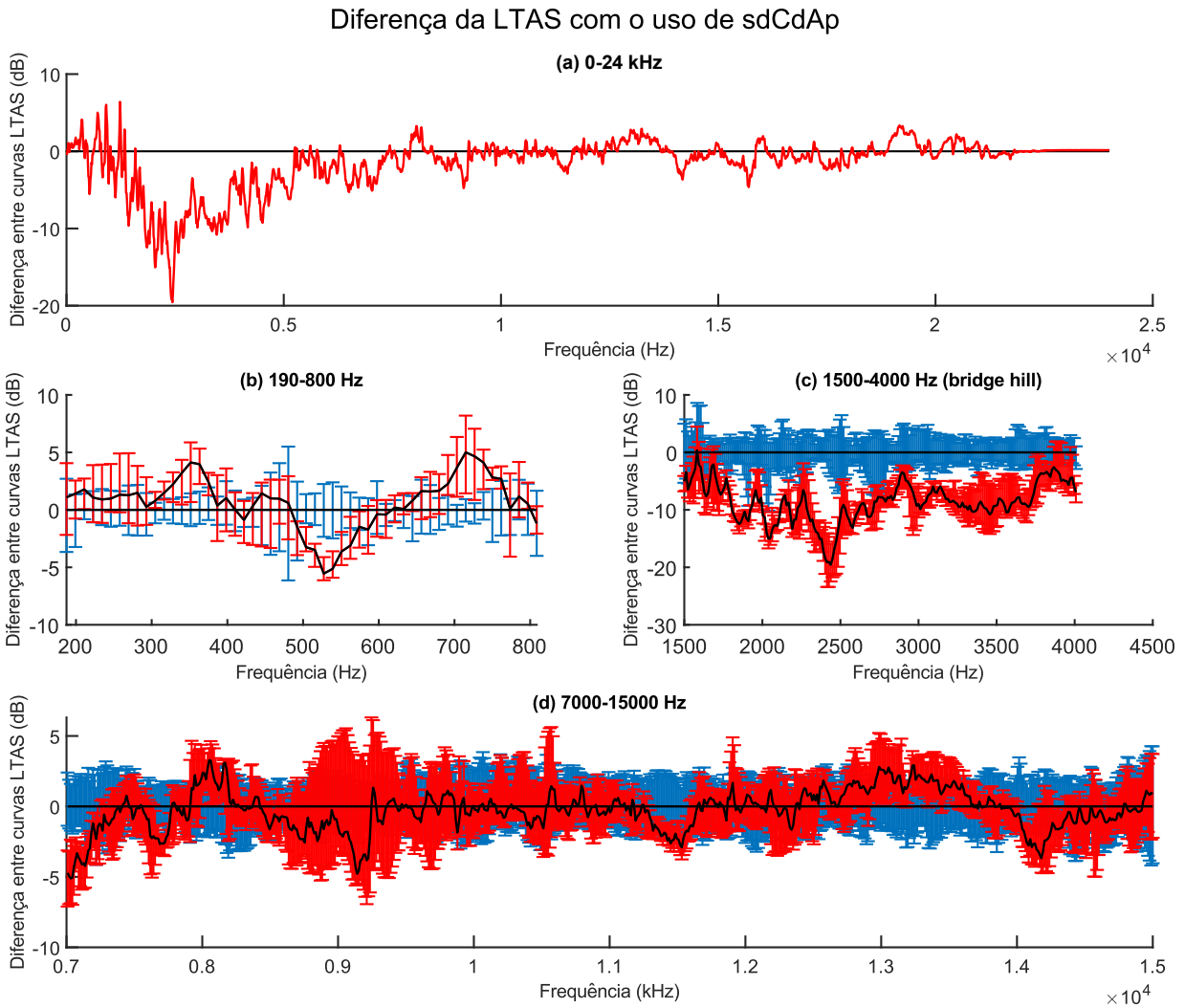
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.10: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de *sdCdAp* (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

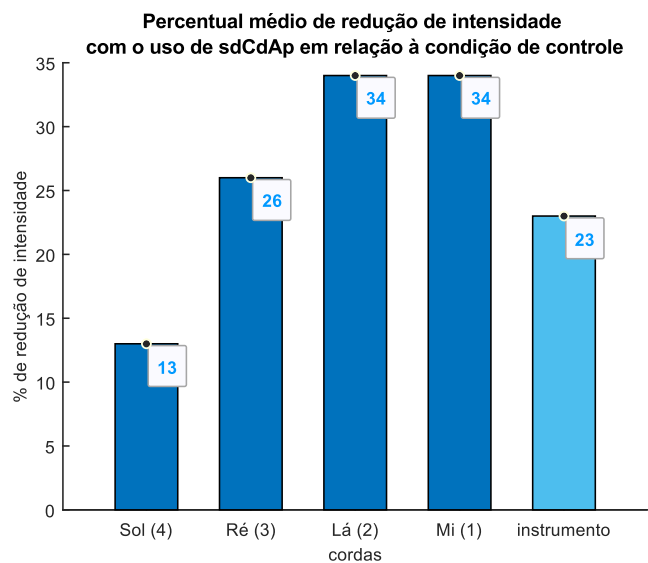
| sdCdAp | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdCdAp | 33,89 | 28,94 | 24,26 | 22,55 | 30,86 |
| % redução de intensidade * | 13,4% | 26,1% | 33,9% | 33,6% | 23,2% |
| desvio padrão * | 1,58 | 1,36 | 1,27 | 1,02 | 1,09 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdCdAp | 0,37 | 0,42 | 3,48 | 3,92 | 0,50 |
| desvio padrão | 3,14 | 2,36 | 3,22 | 1,54 | 1,87 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.11 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Alpine (sdCdAp) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.4 Surdinas de estudo (abafadores)

4.1.4.1 Abafador preto de borracha (abfBor1)

- borracha flexível; 5,5cm x 2,2cm x 1,1cm; 7,60 gramas;

Figura 4.10 – Abafador preto de borracha (abfBor1).



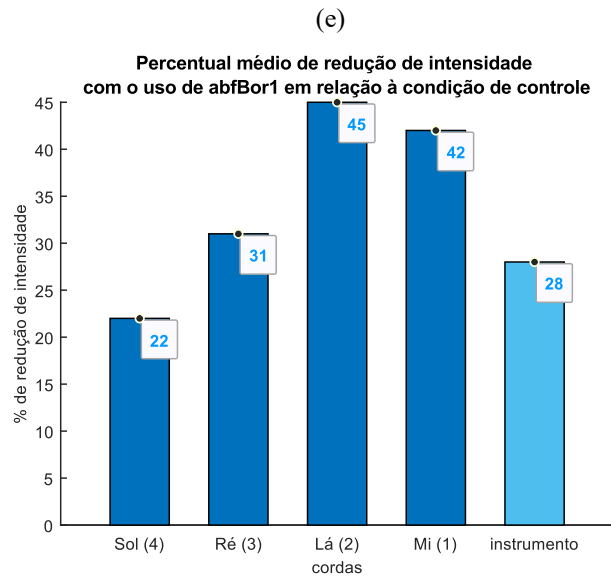
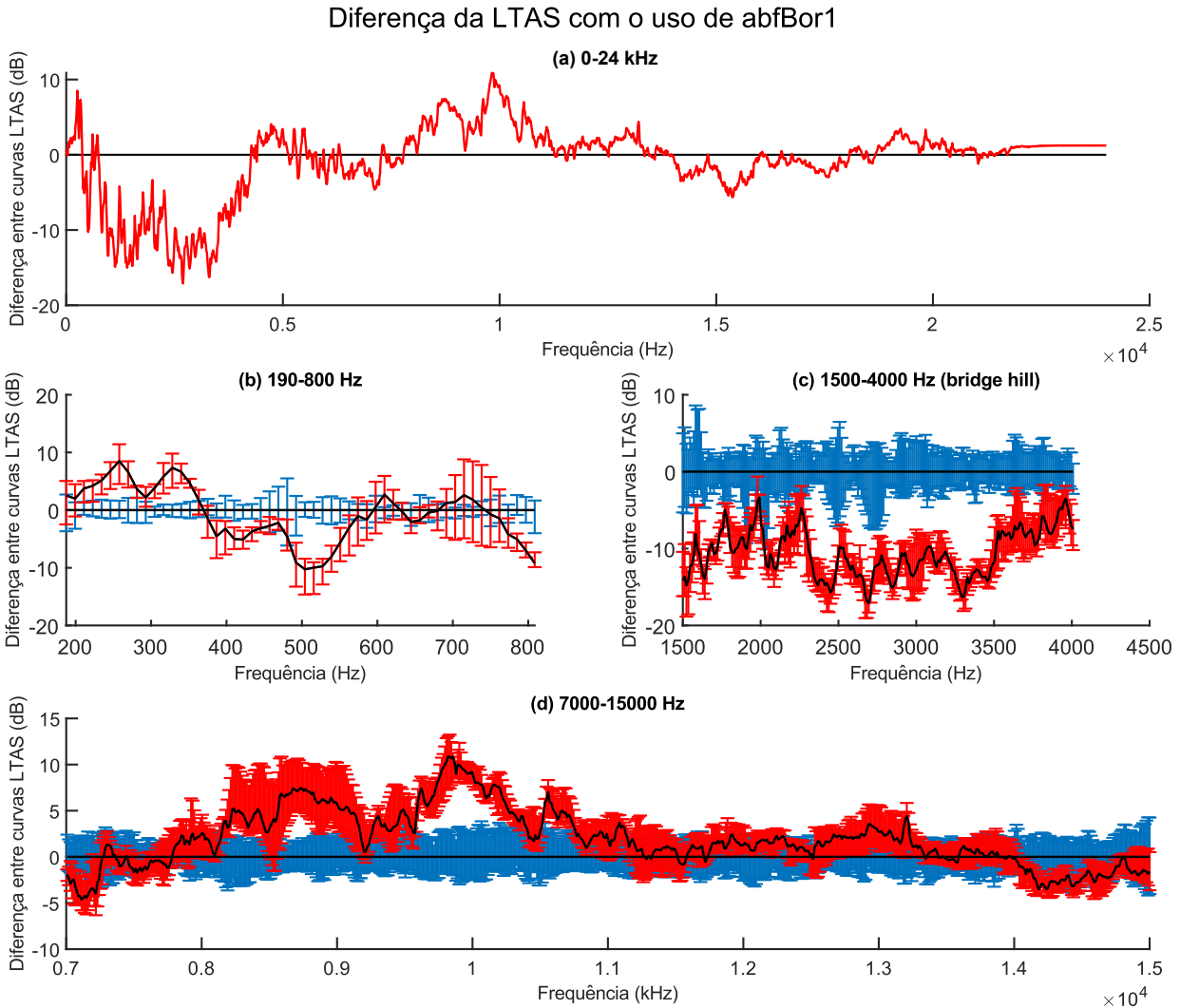
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.11: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfBor1 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfBor1 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| <i>corda</i> | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfBor1 | 31,84 | 27,83 | 21,63 | 20,78 | 29,80 |
| % redução de intensidade * | 21,9% | 30,7% | 45,4% | 42,0% | 27,6% |
| desvio padrão * | 1,69 | 1,67 | 1,60 | 1,70 | 1,27 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfBor1 | 0,34 | 0,35 | 8,14 | 6,64 | 0,49 |
| desvio padrão | 2,74 | 2,08 | 3,95 | 0,90 | 1,69 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

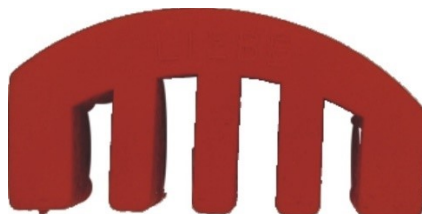
Gráfico 4.12 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador preto de borracha (abfBor1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.4.2 Abafador vermelho de borracha (abfBor2)

- borracha rígida; 5,3cm x 2,5cm x 1,4cm; 13,40 gramas;

Figura 4.11 – Abafador vermelho de borracha (abfBor2).



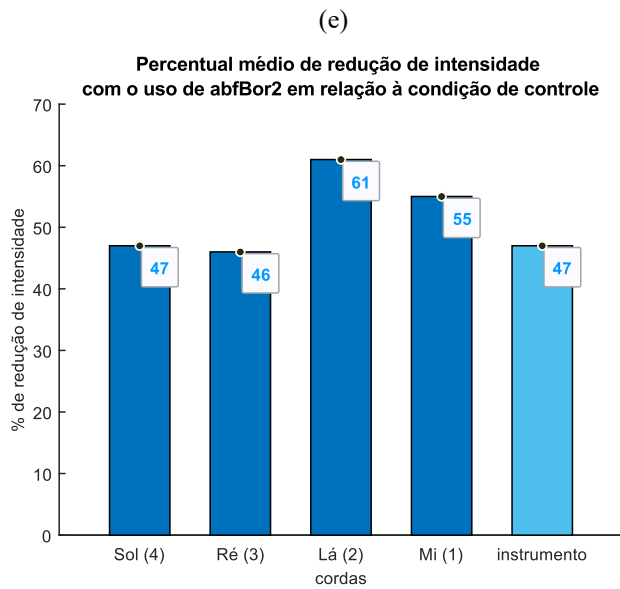
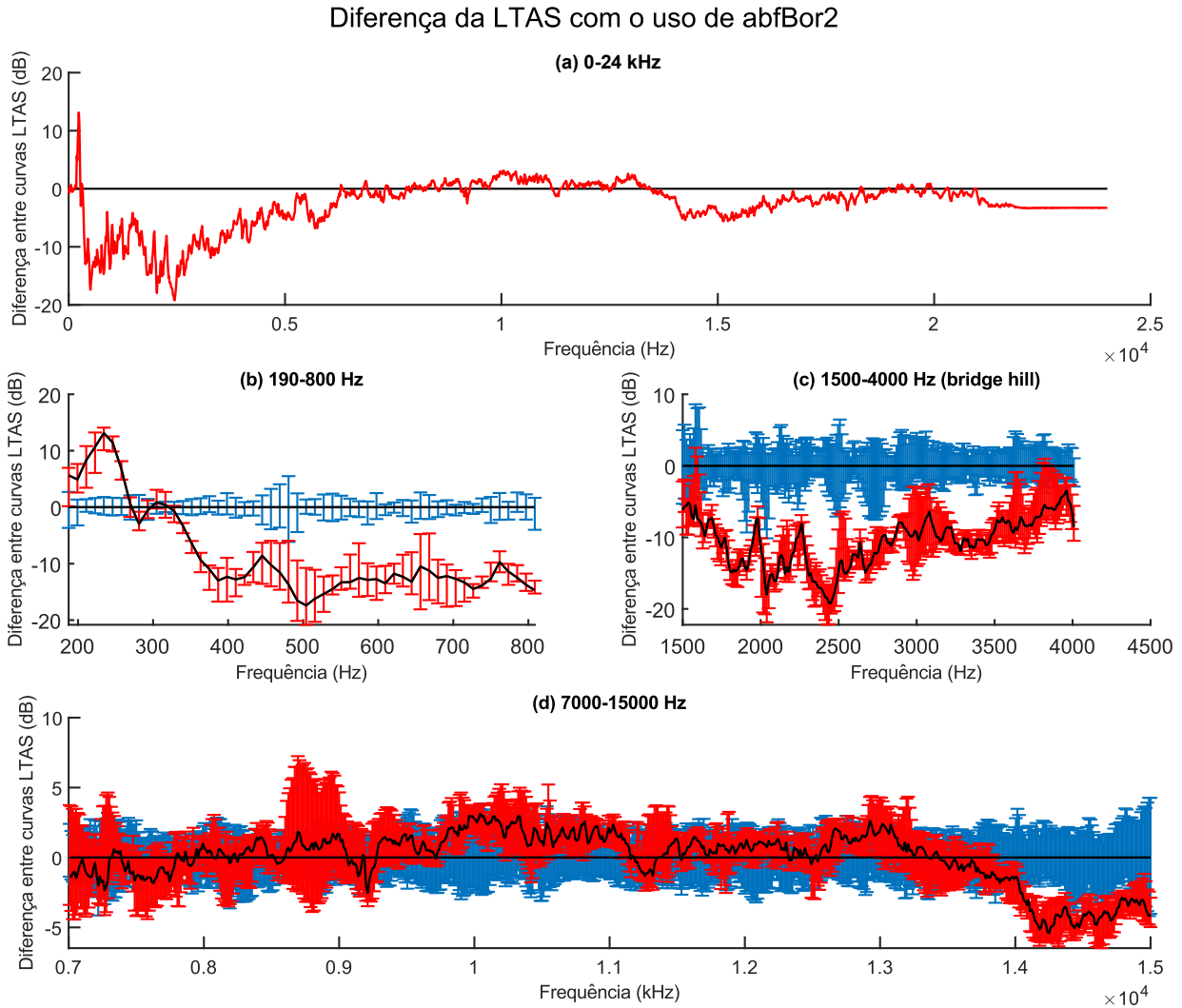
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.12: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfBor2 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfBor2 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfBor2 | 25,25 | 24,04 | 17,71 | 17,89 | 24,59 |
| % redução de intensidade * | 46,9% | 45,7% | 60,8% | 54,8% | 47,4% |
| desvio padrão * | 2,07 | 2,56 | 1,19 | 1,63 | 1,44 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfBor2 | 0,57 | 0,63 | 17,87 | 9,09 | 0,92 |
| desvio padrão | 2,88 | 2,52 | 4,20 | 1,12 | 2,29 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.13 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador vermelho de borracha (abfBor2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.4.3 Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0)

- metal leve; 3,0 cm x 2,8 cm x 0,9 cm; 15,55 gramas;

Figura 4.12– Abafador de metal leve com três dentes (abfMt0).



(fonte: imagem própria)

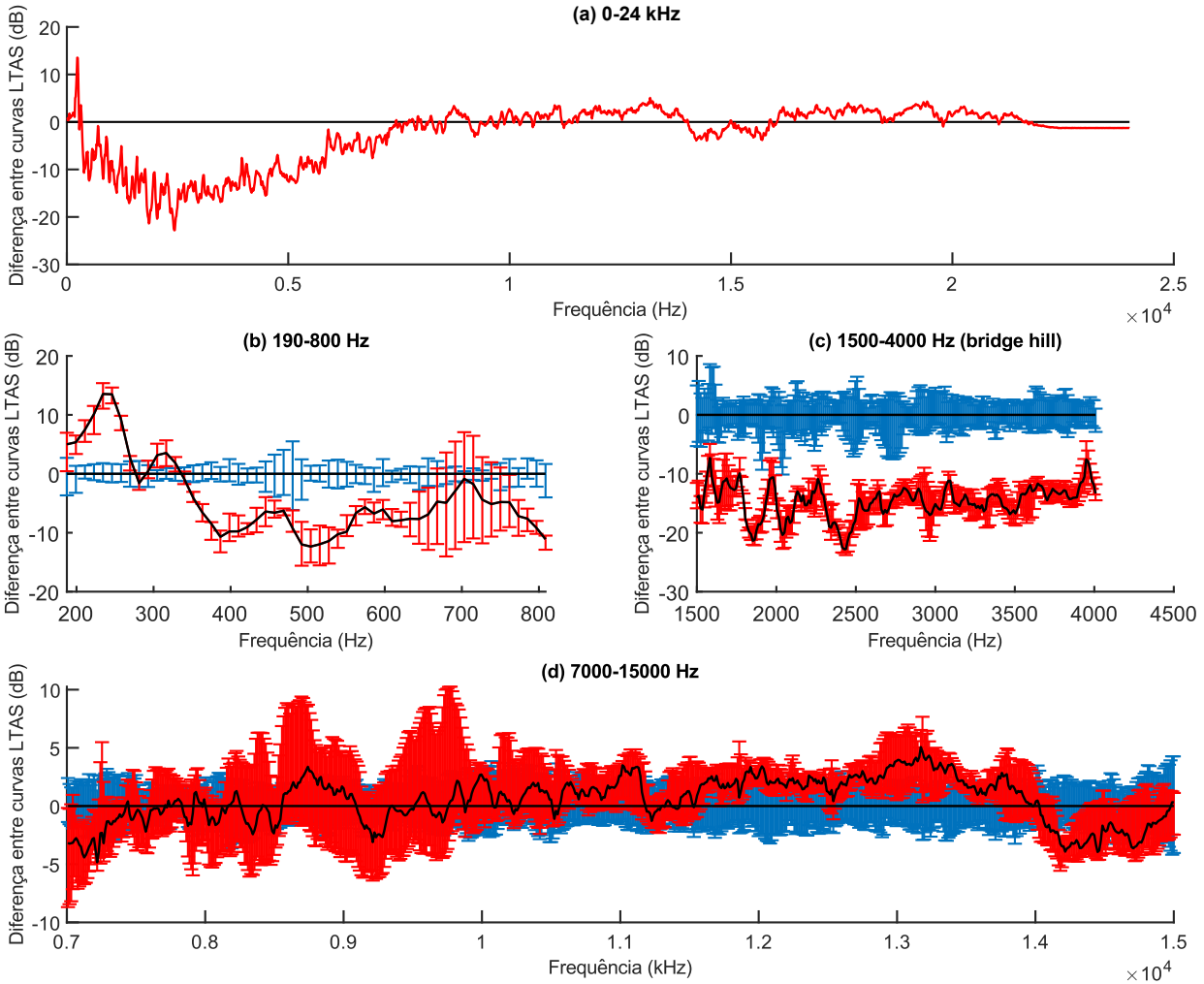
Tabela 4.13: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt0 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfMt0 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfMt0 | 26,49 | 22,76 | 16,72 | 15,73 | 24,06 |
| % redução de intensidade * | 42,5% | 50,4% | 64,4% | 63,5 | 49,2% |
| desvio padrão * | 1,97 | 2,50 | 1,75 | 3,09 | 2,07 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt0 | 0,68 | 0,56 | 11,42 | 13,20 | 0,92 |
| desvio padrão | 3,05 | 2,64 | 4,57 | 1,50 | 2,34 |

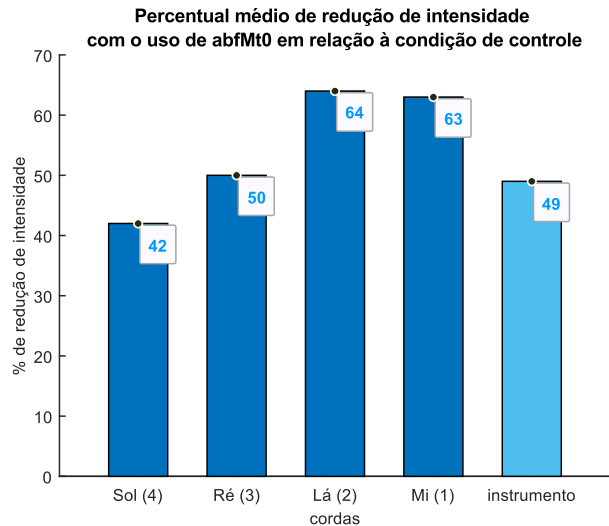
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.14 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal leve com três dentes (abfMt0) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.000-15.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de abfMt0



(e)



4.1.4.4 Abafador de metal (*abfMt1*)

- metal cromado; 5cm x 2,5cm x 1,2cm; 44,90 gramas;

Figura 4.13 – Abafador de metal (*abfMt1*).



(fonte: imagem própria)

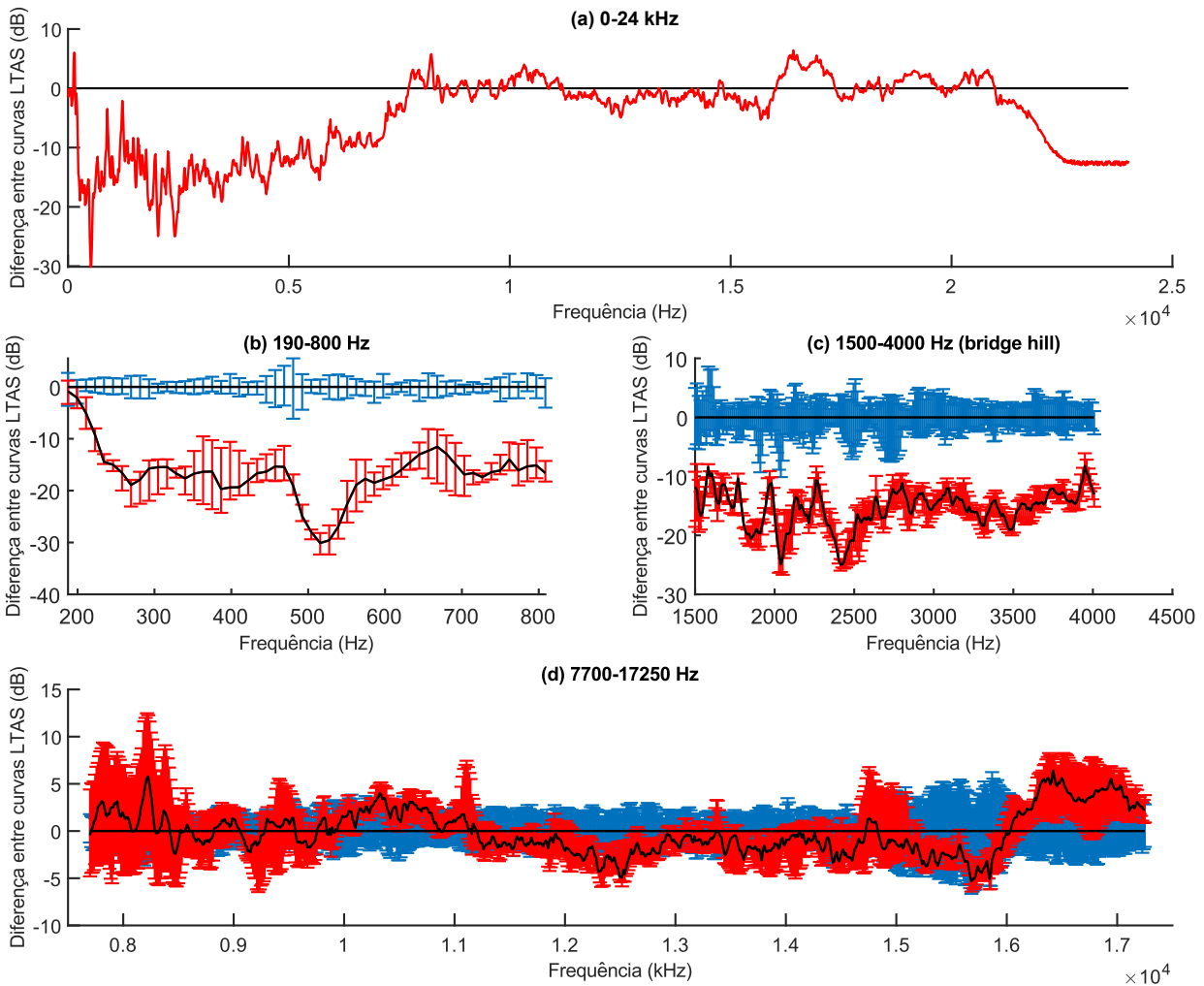
Tabela 4.14: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de *abfMt1* (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfMt1 | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfMt1 | 14,90 | 13,58 | 12,78 | 13,03 | 15,18 |
| % redução de intensidade * | 77,9% | 79,0% | 77,2% | 73,3% | 76,4% |
| desvio padrão * | 1,67 | 1,61 | 1,72 | 1,68 | 1,08 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt1 | 5,99 | 9,86 | 13,35 | 14,14 | 8,67 |
| desvio padrão | 3,40 | 3,49 | 3,21 | 1,69 | 2,98 |

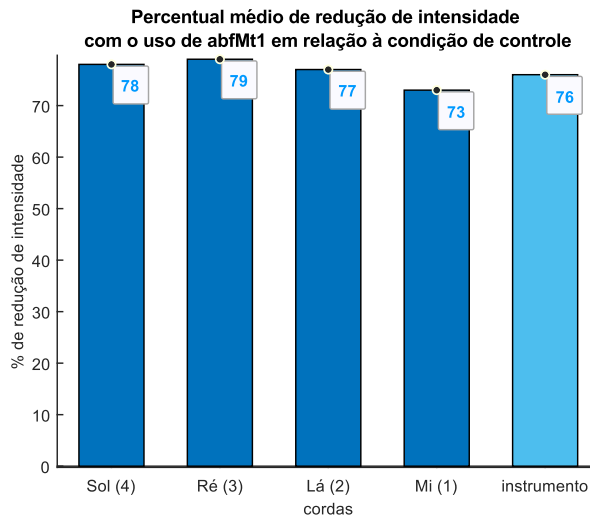
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.15 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal de metal (abfMt1) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 7.700-17.250 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de abfMt1



(e)



4.1.4.5 Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2)

- metal revestido de borracha; 5,5cm x 2,8cm x 1,7cm; 58,65 gramas;

Figura 4.14 – Abafador de metal revestido de borracha (abfMt2).



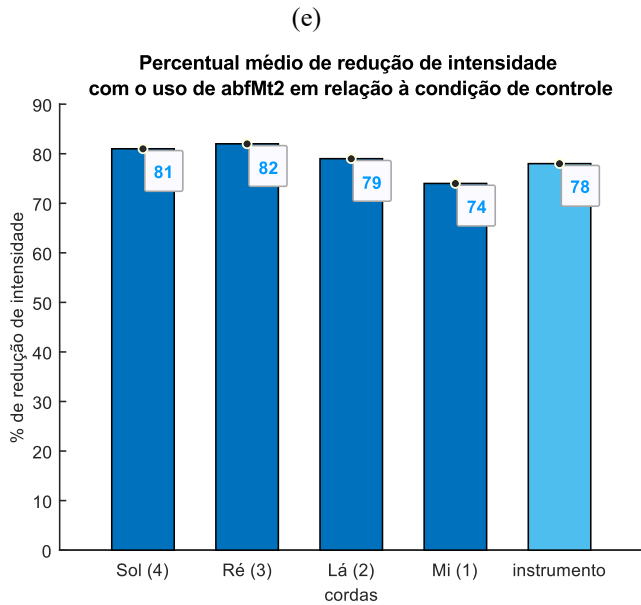
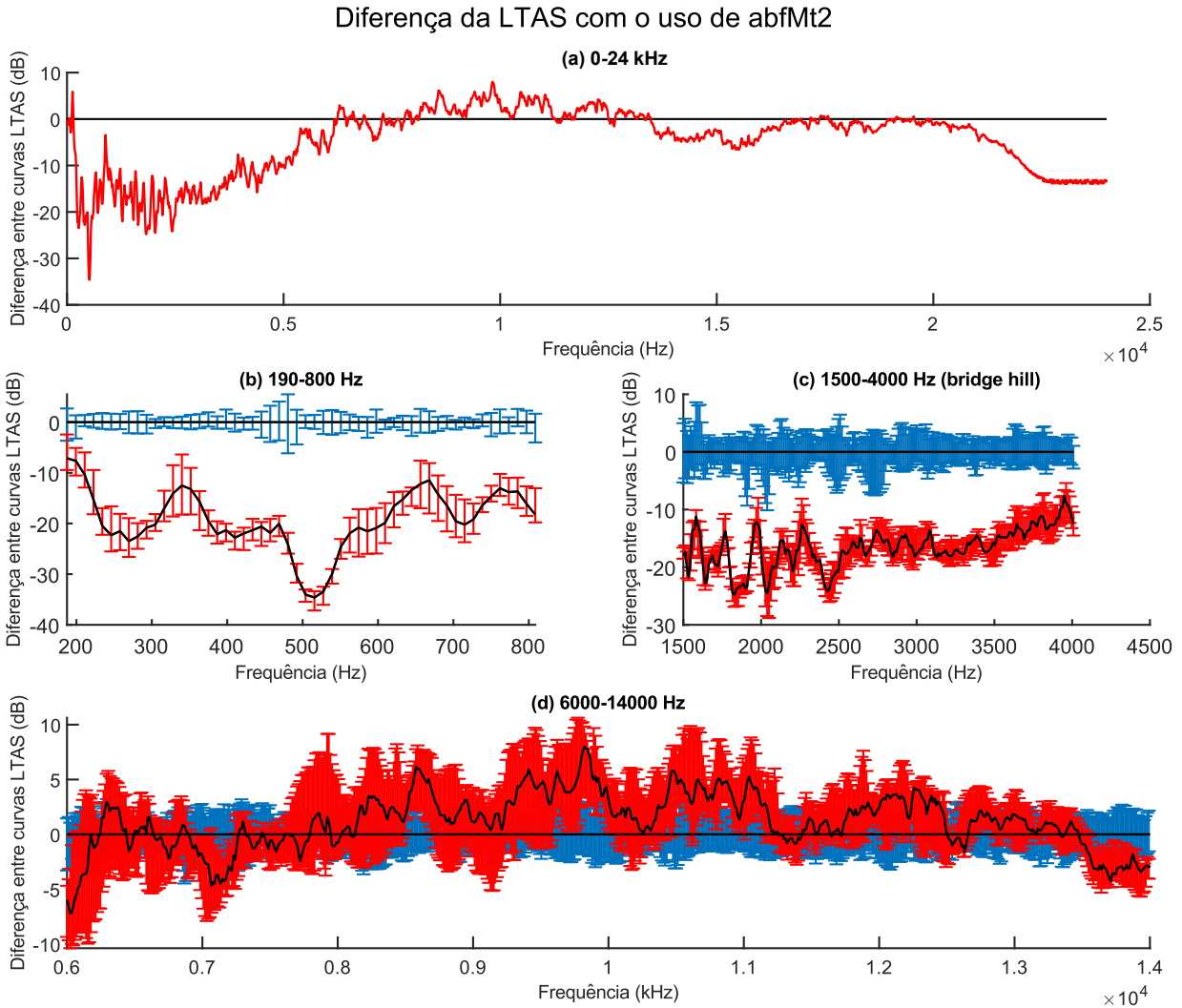
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.15: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt2 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfMt2 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfMt2 | 13,81 | 12,53 | 12,16 | 12,94 | 14,42 |
| % redução de intensidade * | 80,5% | 81,6% | 79,0% | 73,6% | 78,3% |
| desvio padrão * | 1,75 | 1,67 | 2,21 | 2,43 | 1,56 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt2 | 8,10 | 20,48 | 19,51 | 21,30 | 13,72 |
| desvio padrão | 3,74 | 4,07 | 2,99 | 2,71 | 3,35 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.16 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal revestido de borracha (abfMt2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5 Réplicas e dispositivos alterados a partir da surdina de ébano menor (sdEbpq)

4.1.5.1 Réplica de epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq)

- Resina epóxi; 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75cm; 6,40 gramas;

Figura 4.15 – Réplica de resina epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq).



(fonte: imagem própria)

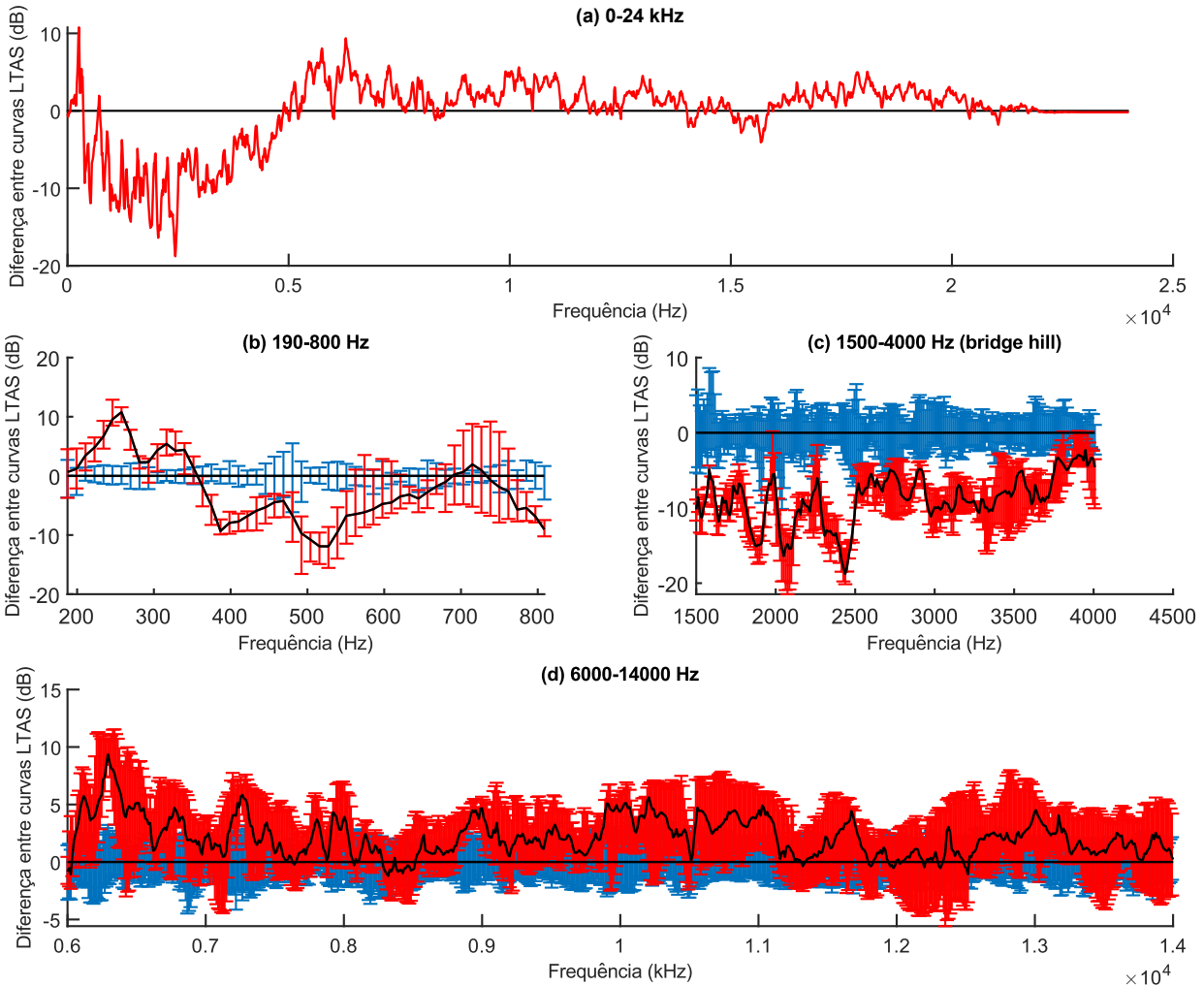
Tabela 4.16: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de repEpxsdEbpq (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| repEpxsdEbpq | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| repEpxsdEbpq | 31,25 | 26,90 | 21,88 | 21,28 | 29,58 |
| % redução de intensidade * | 24,3% | 34,5% | 44,3% | 39,7% | 28,5% |
| desvio padrão * | 1,45 | 1,44 | 1,86 | 1,99 | 1,38 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| repEpxsdEbpq | 0,39 | 0,40 | 9,36 | 7,75 | 0,59 |
| desvio padrão | 2,56 | 1,35 | 3,90 | 2,38 | 1,72 |

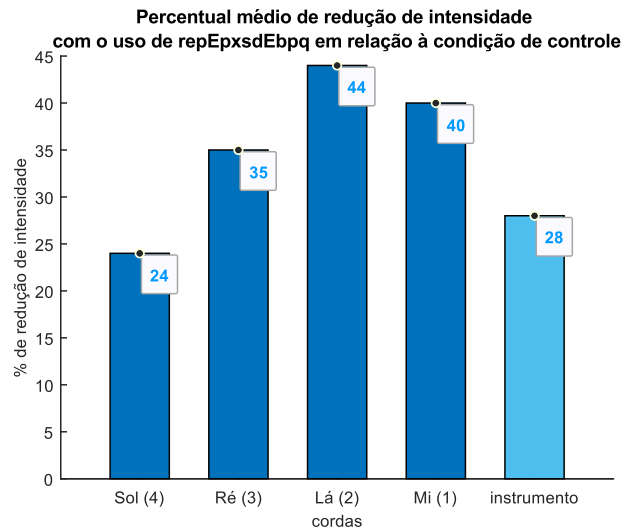
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.17 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de epóxi da surdina de ébano menor (repEpxsdEbpq) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de repEpxsdEbpq



(e)



4.1.5.2 Réplica de chumbo da surdina de ébano menor (*repChbsdEbpq*)

- chumbo; 3,2 cm x 3,0 cm x 0,75 cm; 70,30 gramas;

Figura 4.16 – Réplica de chumbo da surdina de ébano menor com três dentes (*repChbsdEbpq*).



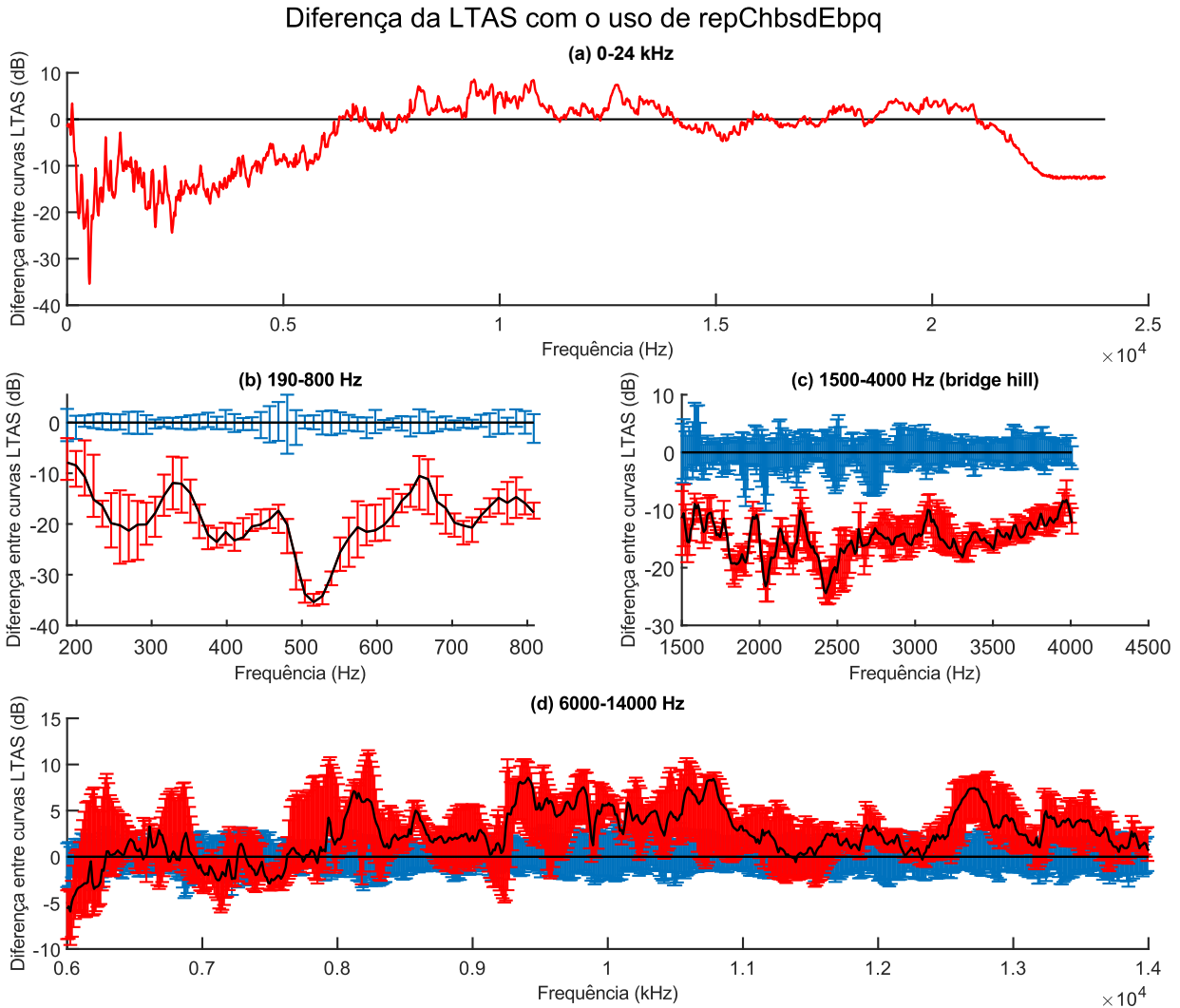
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.17: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de *repChbsdEbpq* (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

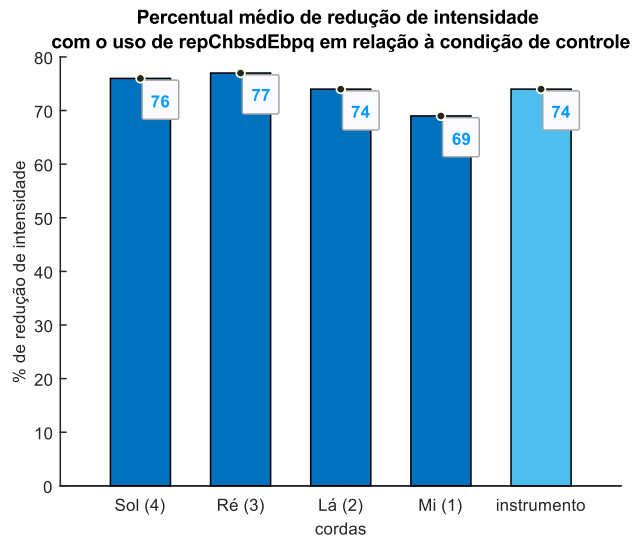
| repChbsdEbpq | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| repChbsdEbpq | 15,71 | 14,25 | 13,98 | 14,18 | 16,03 |
| % redução de intensidade * | 75,8% | 77,2% | 73,5% | 69,3% | 74,1% |
| desvio padrão * | 2,09 | 1,72 | 2,00 | 1,49 | 1,40 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| repChbsdEbpq | 5,03 | 9,89 | 11,13 | 12,99 | 7,61 |
| desvio padrão | 2,72 | 2,58 | 2,51 | 2,29 | 2,28 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.18 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.5.3 *Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx)*

- ébano na porção inferior (dentes de madeira) e resina epóxi na parte superior (topo);
3,2 cm x 3 cm x 0,75 cm; 6,85 gramas;

Figura 4.17 – Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx).



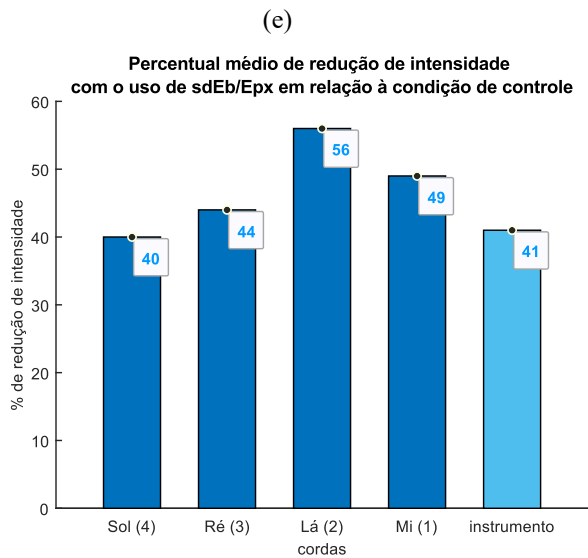
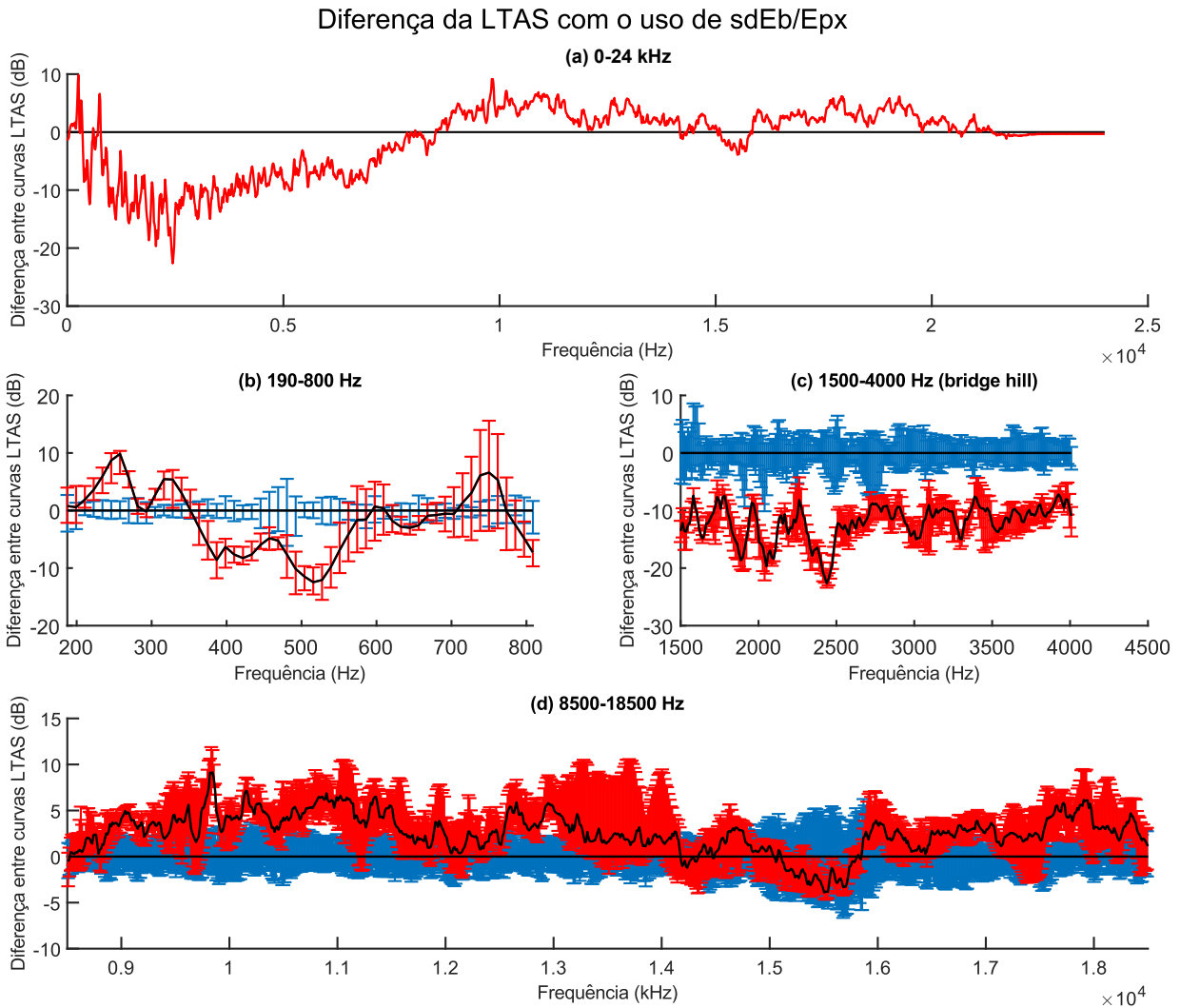
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.18: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb/Epx (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEb/Epx | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb/Epx | 27,16 | 24,45 | 19,09 | 19,32 | 26,45 |
| % redução de intensidade * | 40,0% | 44,15 | 55,6% | 48,6% | 40,6% |
| desvio padrão * | 1,60 | 1,23 | 1,28 | 1,88 | 1,15 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb/Epx | 0,74 | 0,42 | 8,12 | 7,10 | 0,80 |
| desvio padrão | 2,75 | 1,51 | 2,53 | 1,30 | 1,74 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.19 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso de surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi (sdEb/Epx) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 8.500-18.500 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.4 *Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb)*

- ébano na porção inferior (dentes de madeira) e chumbo na parte superior (topo); 3,2 cm x 3 cm x 0,75 cm; 37,22 gramas;

Figura 4.18 – Surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb).



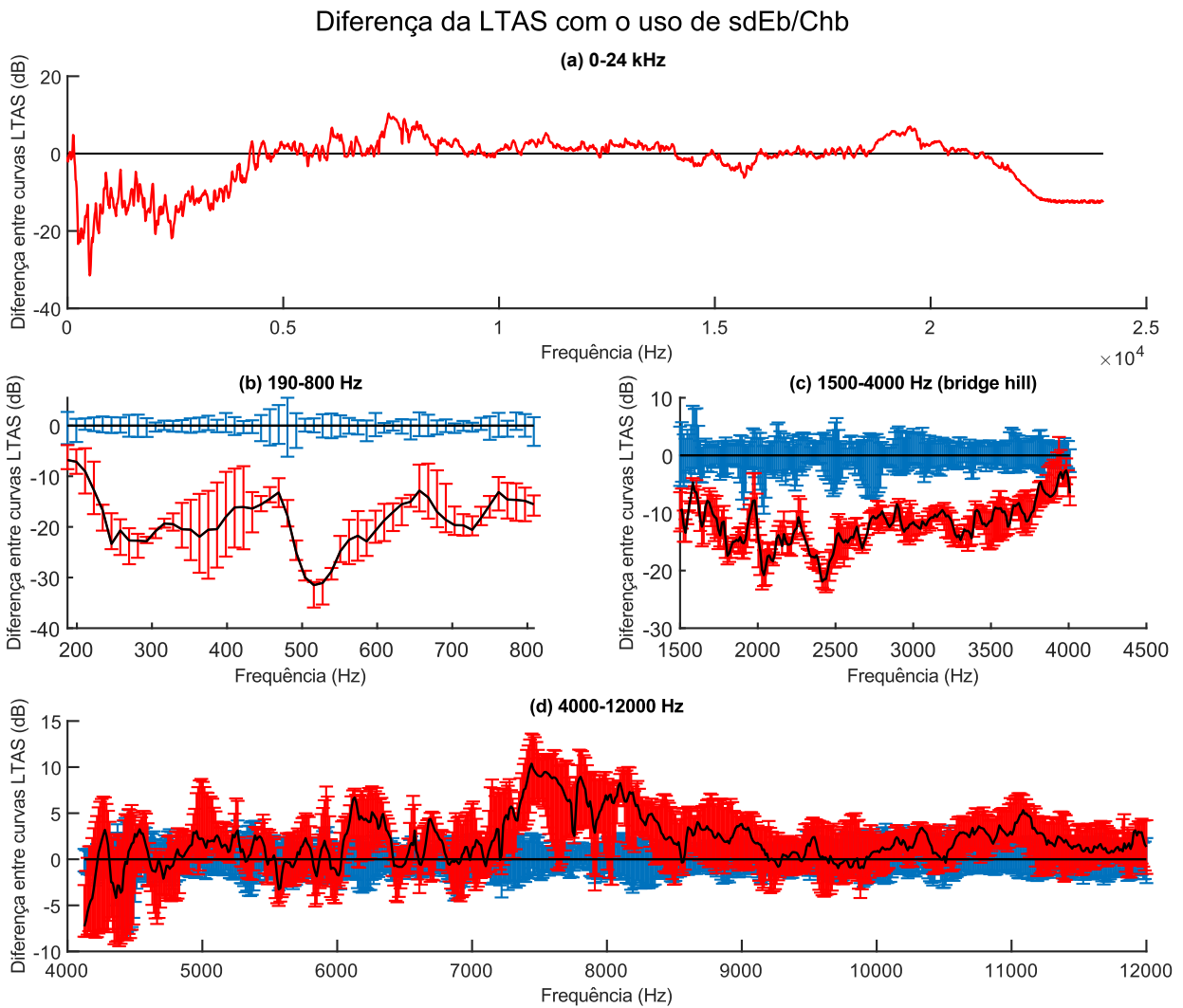
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.19: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb/Chb (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvio padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

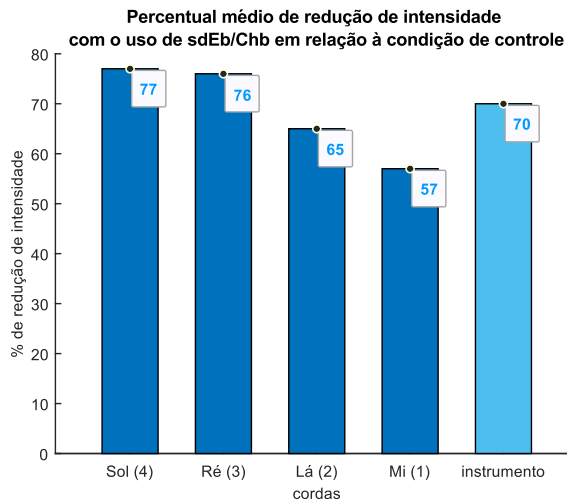
| sdEb/Chb | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb/Chb | 15,10 | 14,68 | 16,32 | 17,32 | 17,52 |
| % redução de intensidade * | 77,4% | 76,1% | 65,8% | 57,2% | 70,0% |
| desvio padrão * | 1,31 | 1,22 | 1,30 | 1,52 | 1,18 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb/Chb | 7,36 | 12,78 | 10,24 | 14,97 | 10,64 |
| desvio padrão | 1,86 | 1,42 | 1,69 | 1,84 | 1,42 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.20 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso de surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo (sdEb/Chb) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000.Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.5.5 *Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Sol/Ré (sdEb1dGD)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porção com o dente e 1,5 cm porções sem os dentes x 0,75cm; 4,90 gramas;

Figura 4.19 – Surdina de ébano menor com apenas um dente.



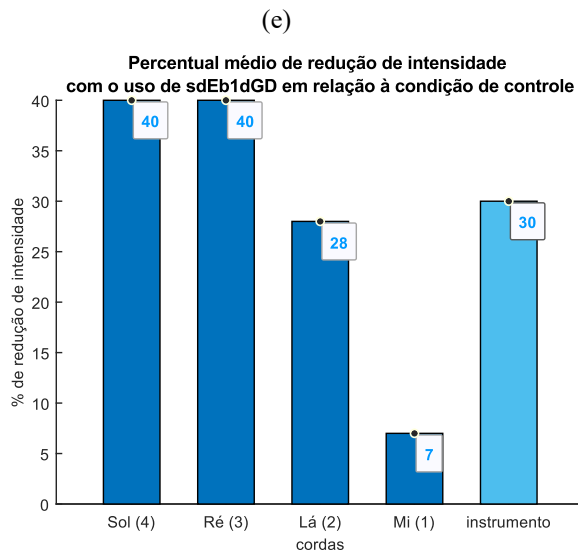
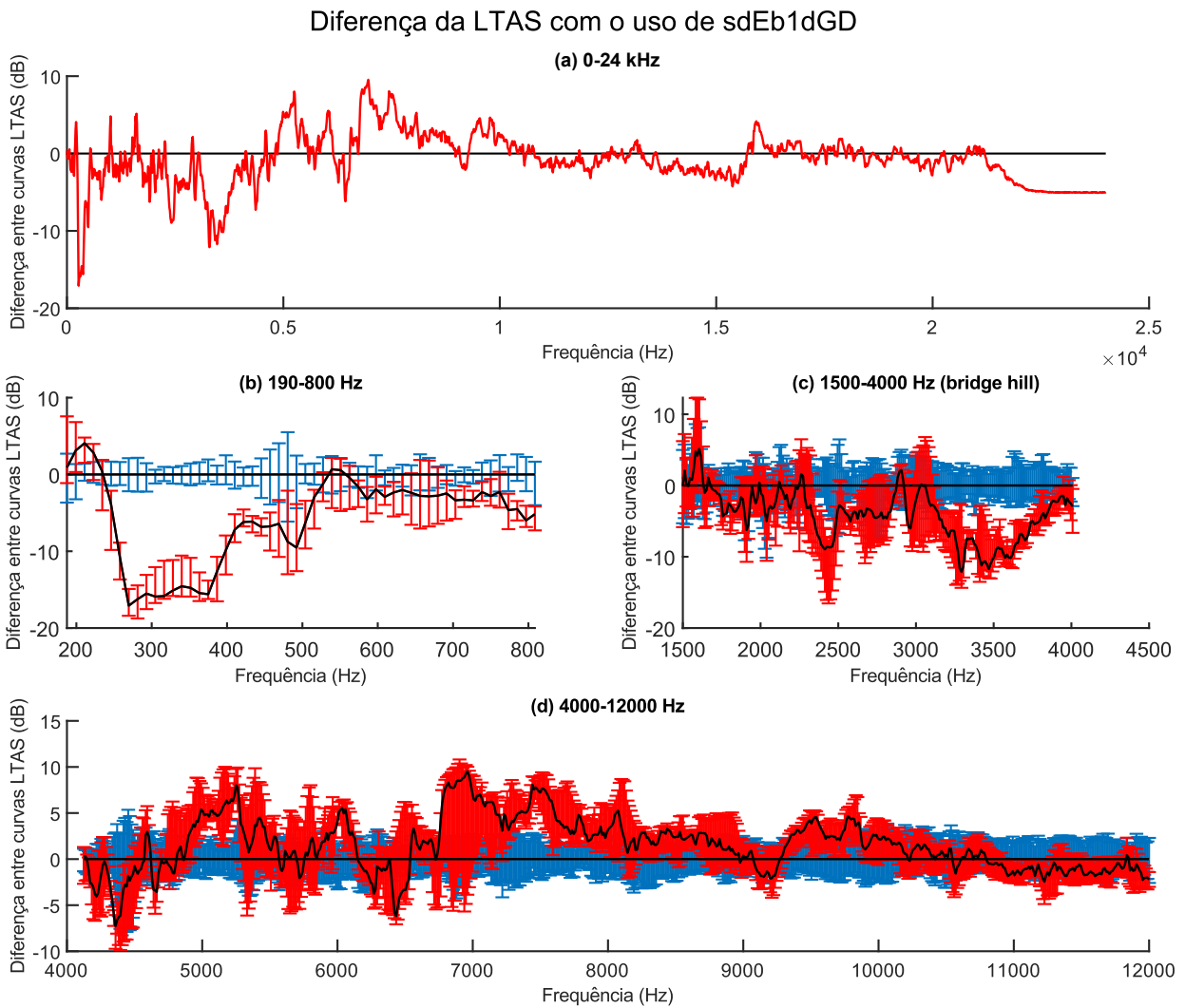
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.20: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dGD (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEb1dGD | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb1dGD | 27,06 | 25,50 | 25,59 | 27,57 | 29,18 |
| % redução de intensidade * | 40,4% | 40,1% | 27,8% | 7,2% | 30,0% |
| desvio padrão * | 1,10 | 1,33 | 1,59 | 1,66 | 1,14 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb1dGD | 1,16 | 1,33 | 1,76 | 3,61 | 1,29 |
| desvio padrão | 1,68 | 2,10 | 2,06 | 2,68 | 1,32 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.21 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Sol/Ré (sdEb1dGD) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.6 *Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Ré/Lá (sdEb1dDA)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porção com o dente e 1,5 cm porções sem os dentes x 0,75cm; 4,90 gramas;

Figura 4.20 – Surdina de ébano menor com apenas um dente.



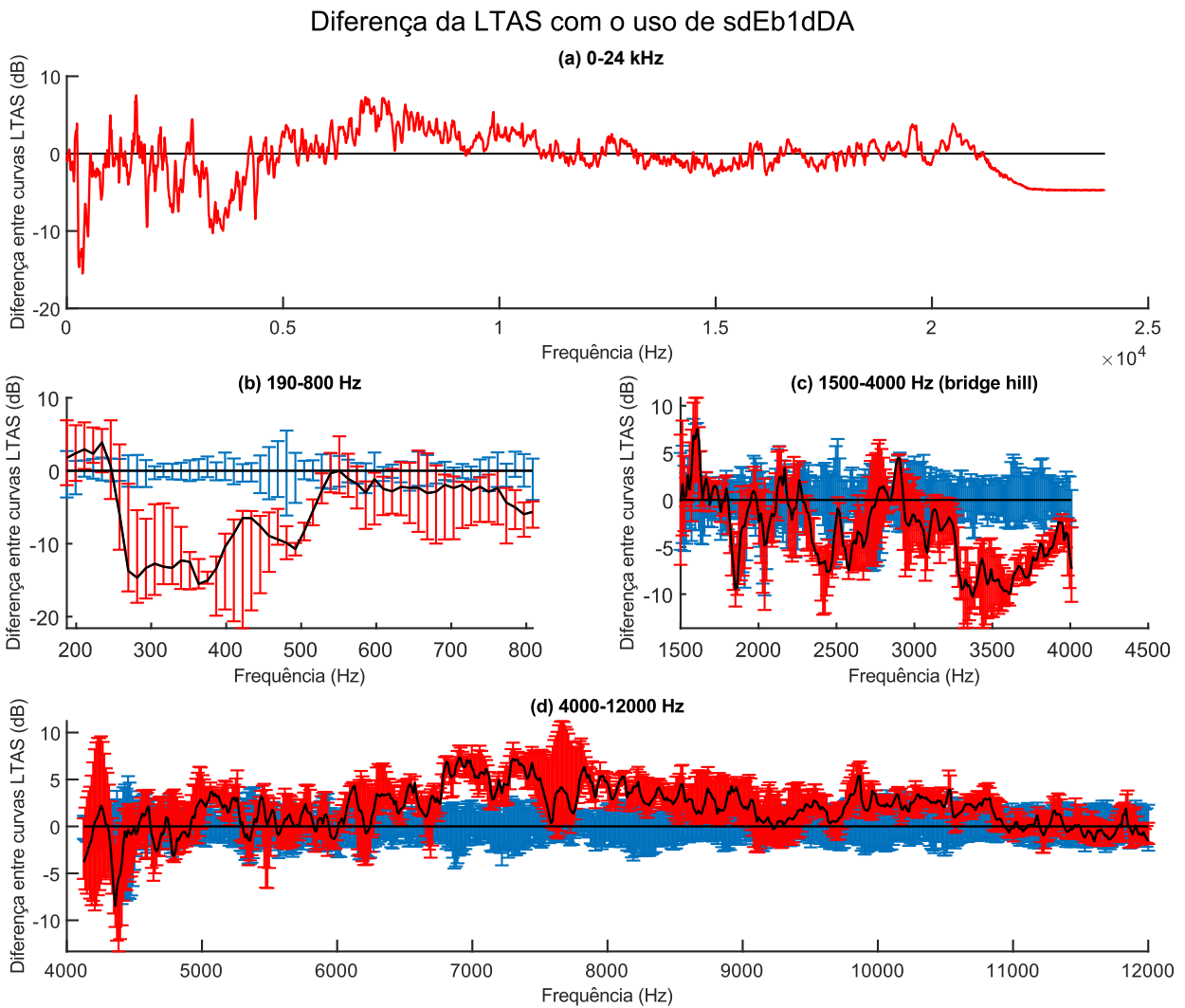
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.21: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dDA (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

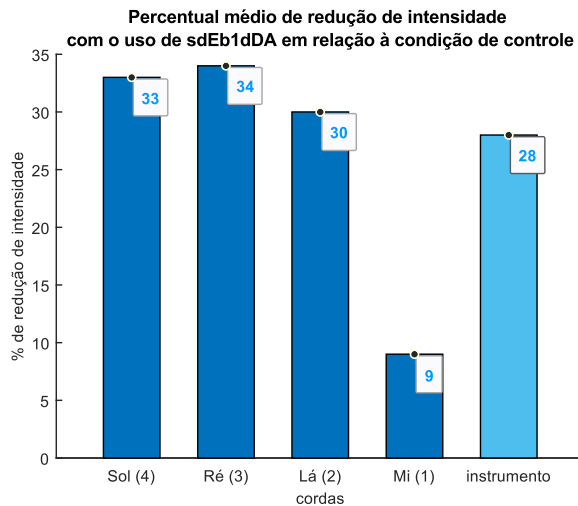
| sdEb1dDA | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb1dDA | 28,97 | 27,01 | 25,19 | 27,31 | 29,76 |
| % redução de intensidade * | 33,2% | 34,1% | 29,7% | 8,7% | 27,7% |
| desvio padrão * | 0,71 | 0,85 | 1,06 | 1,21 | 0,58 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb1dDA | 1,06 | 1,55 | 2,16 | 5,19 | 1,31 |
| desvio padrão | 1,50 | 1,43 | 2,26 | 3,16 | 1,09 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.22 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Ré/Lá (sdEb1dDA) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.5.7 *Surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Lá/Mi (sdEb1dAE)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porção com o dente e 1,5 cm porções sem os dentes x 0,75cm; 4,90 gramas;

Figura 4.21 – Surdina de ébano menor com apenas um dente.



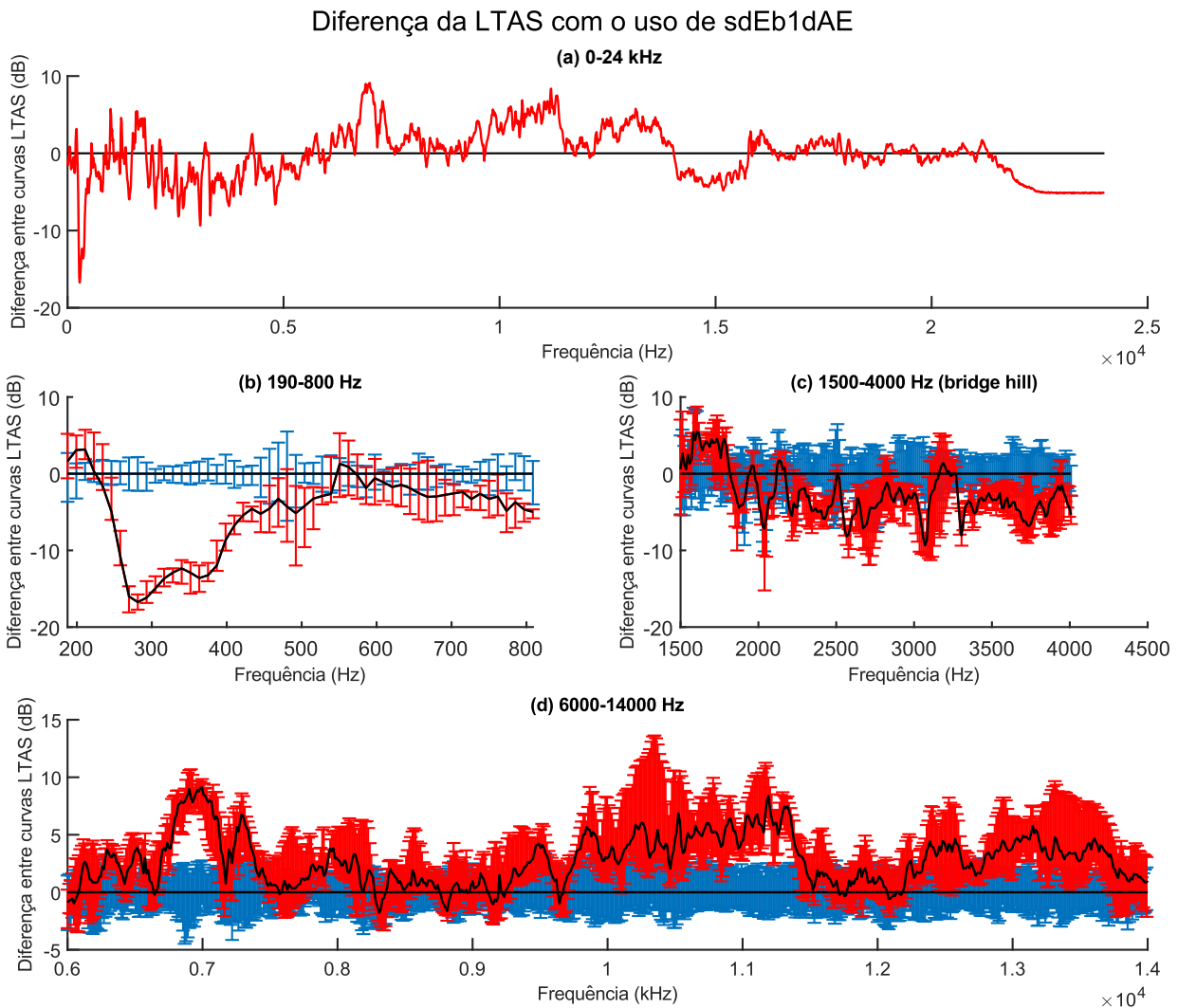
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.22: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb1dAE (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

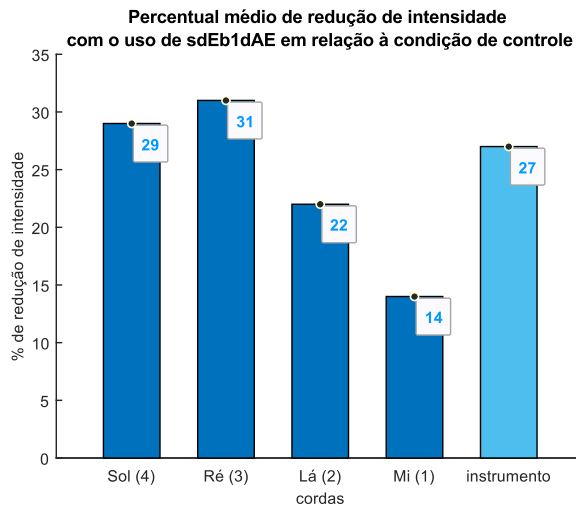
| sdEb1dAE | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb1dAE | 29,99 | 27,86 | 26,80 | 26,43 | 29,86 |
| % redução de intensidade * | 29,3% | 30,6% | 22,0% | 13,6% | 27,3% |
| desvio padrão * | 0,73 | 0,91 | 0,96 | 1,29 | 0,71 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb1dAE | 1,04 | 1,40 | 1,42 | 5,78 | 1,23 |
| desvio padrão | 1,79 | 1,52 | 1,77 | 2,79 | 1,30 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.23 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com apenas um dente acoplada entre as cordas Lá/Mi (sdEb1dAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-14.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.5.8 *Surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEb2dpG)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porções com os dentes e 1,5 cm porção sem o dente x 0,75cm; 4,85 gramas;

Figura 4.22 – Surdina de ébano menor com dois dentes próximos.



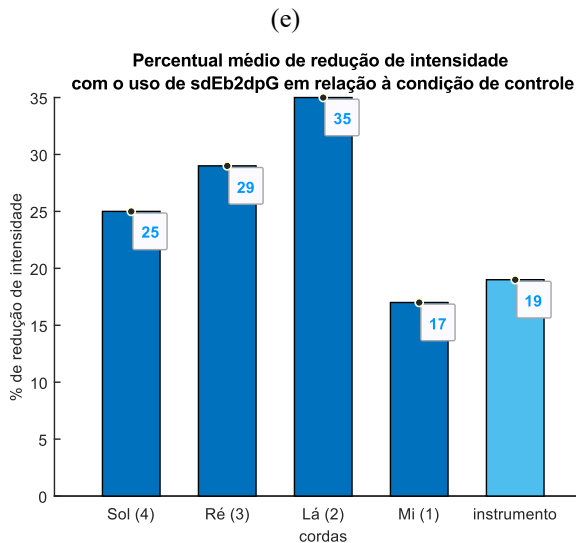
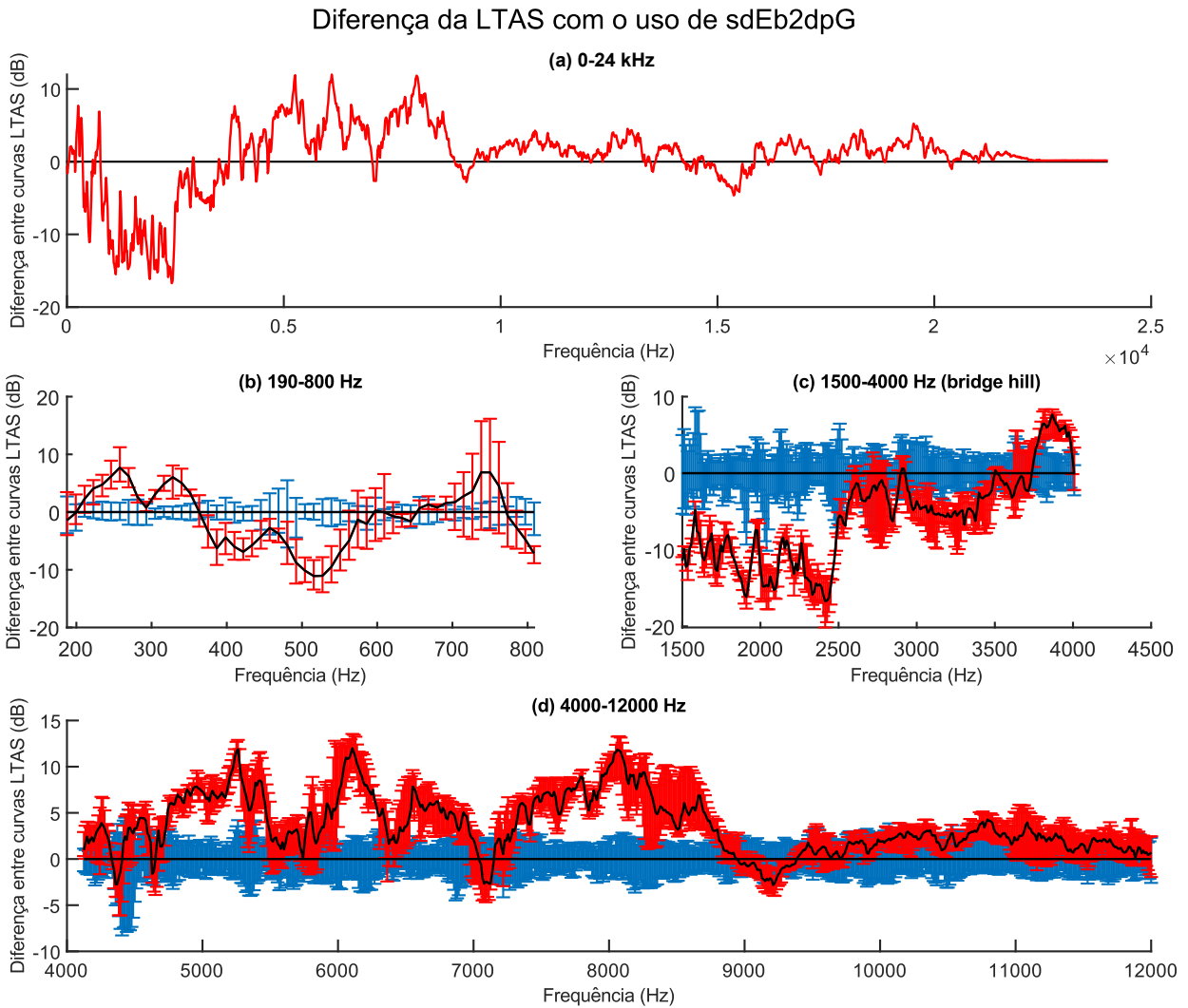
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.23: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2dpG (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEb2dpG | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb2dpG | 31,10 | 28,34 | 24,13 | 25,73 | 31,83 |
| % redução de intensidade * | 24,9% | 28,6% | 34,5% | 17,3% | 19,2% |
| desvio padrão * | 0,91 | 1,03 | 0,94 | 1,23 | 0,71 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb2dpG | 0,43 | 0,36 | 6,36 | 9,77 | 0,82 |
| desvio padrão | 2,34 | 0,79 | 2,26 | 0,59 | 0,94 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.24 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEb2dpG) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.9 *Surdina de ébano menor com dois dentes próxima entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEb2dpE)*

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porções com os dentes e 1,5 cm porção sem o dente x 0,75cm; 4,85 gramas;

Figura 4.23 – Surdina de ébano menor com dois.



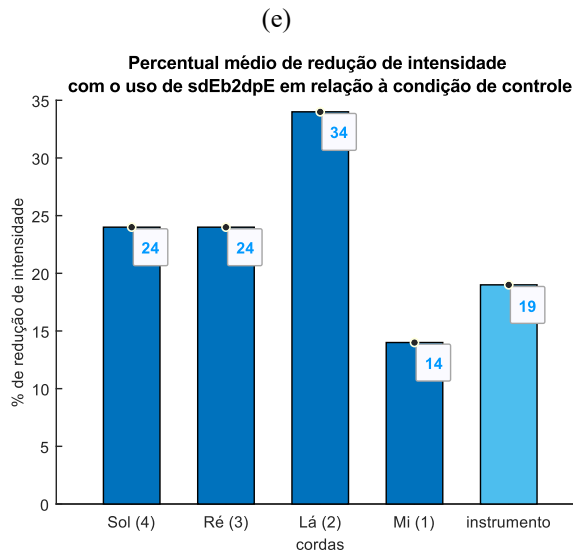
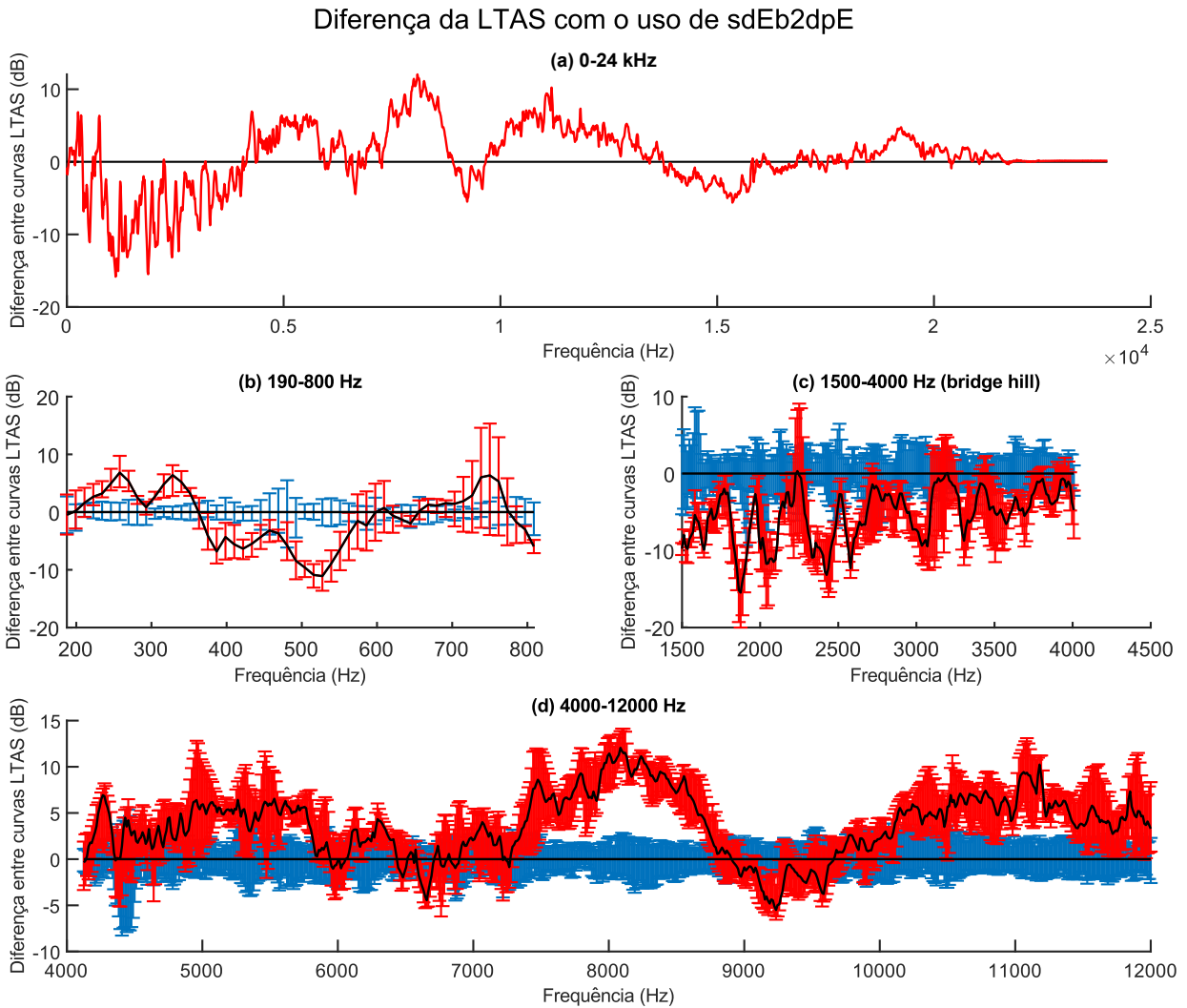
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.24: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2dpE (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEb2dpE | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb2dpE | 31,37 | 29,50 | 24,28 | 26,30 | 31,98 |
| % redução de intensidade * | 23,8% | 23,7% | 33,8% | 14,3% | 18,5% |
| desvio padrão * | 0,79 | 0,91 | 0,86 | 1,31 | 0,64 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb2dpE | 0,49 | 0,38 | 5,82 | 5,57 | 0,67 |
| desvio padrão | 2,31 | 1,16 | 3,03 | 0,95 | 1,26 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.25 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes próximos acoplada entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEb2dpE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.10 Surdina de ébano menor com dois dentes afastados acoplada entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEb2ds)

- ébano; 3,2 cm x 3,0 cm porções com os dentes e 1,5 cm porção sem o dente x 0,75cm; 4,90 gramas;

Figura 4.24 – Surdina de ébano menor com dois dentes afastados.



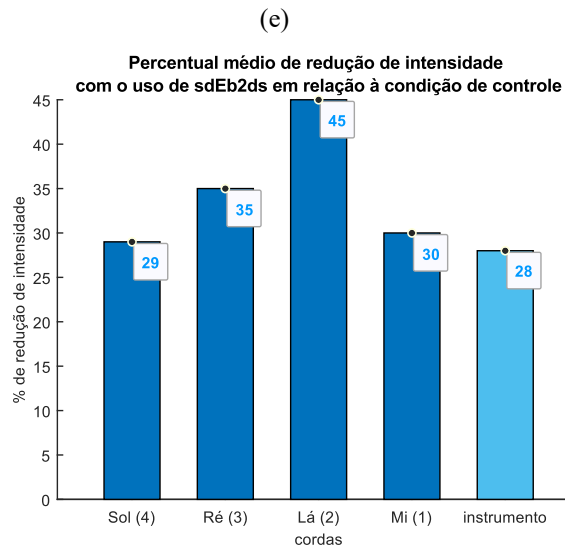
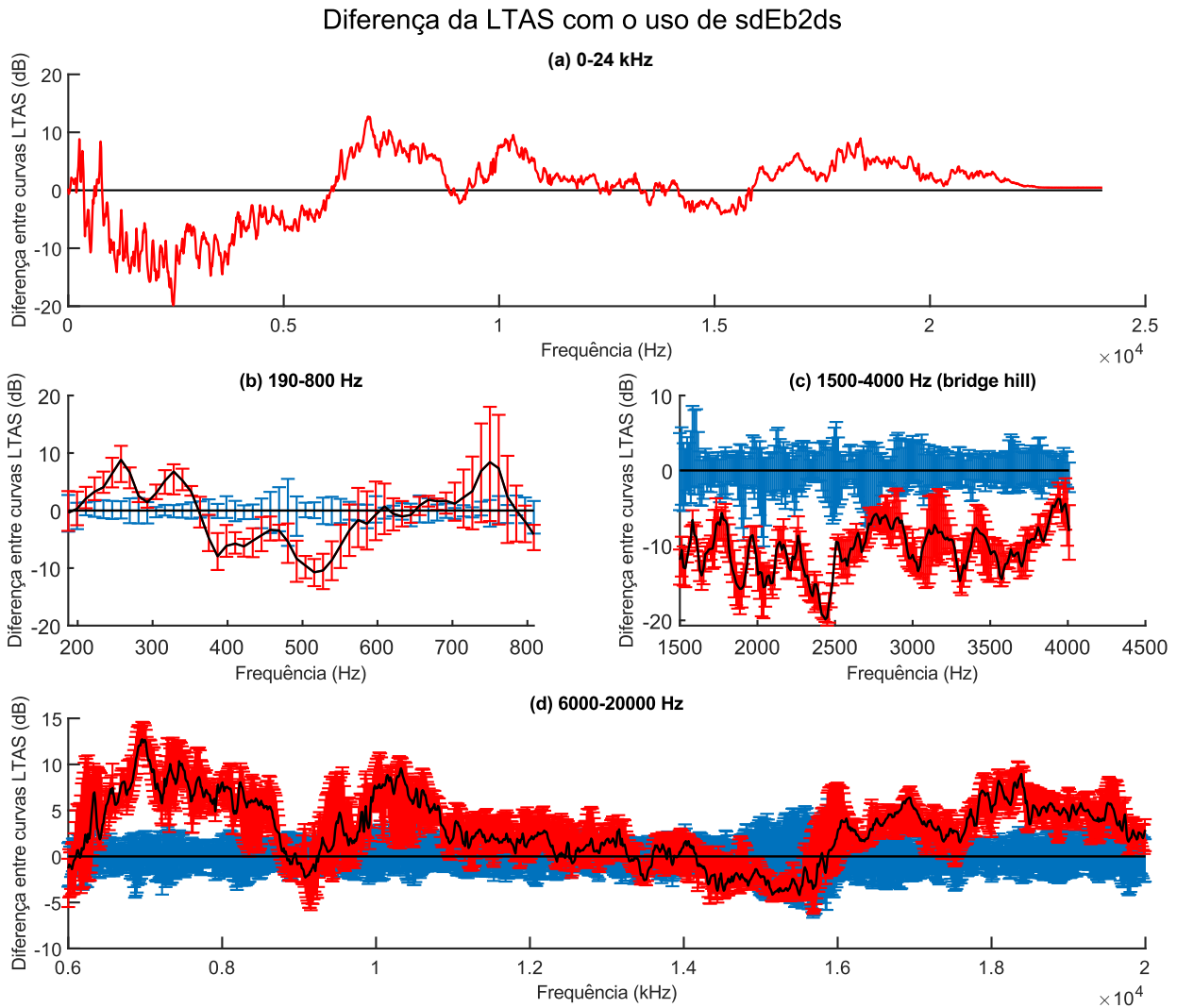
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.25: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEb2ds (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEb2ds | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEb2ds | 30,10 | 26,88 | 21,74 | 23,29 | 29,72 |
| % redução de intensidade * | 28,8% | 34,6% | 44,9% | 29,9% | 27,9% |
| desvio padrão * | 1,12 | 1,31 | 0,97 | 1,44 | 0,78 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb2ds | 0,53 | 0,36 | 5,07 | 6,04 | 0,67 |
| desvio padrão | 1,65 | 0,98 | 1,20 | 0,77 | 1,01 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.26 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor com dois dentes afastados acoplada entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEb2ds) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.11 Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEbSegGDDA)

- ébano; 0,8 cm x 3 cm x 0,75 cm; 2,00 gramas cada dente (total 4,00 gramas);

Figura 4.25 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes).



(fonte: imagem própria)

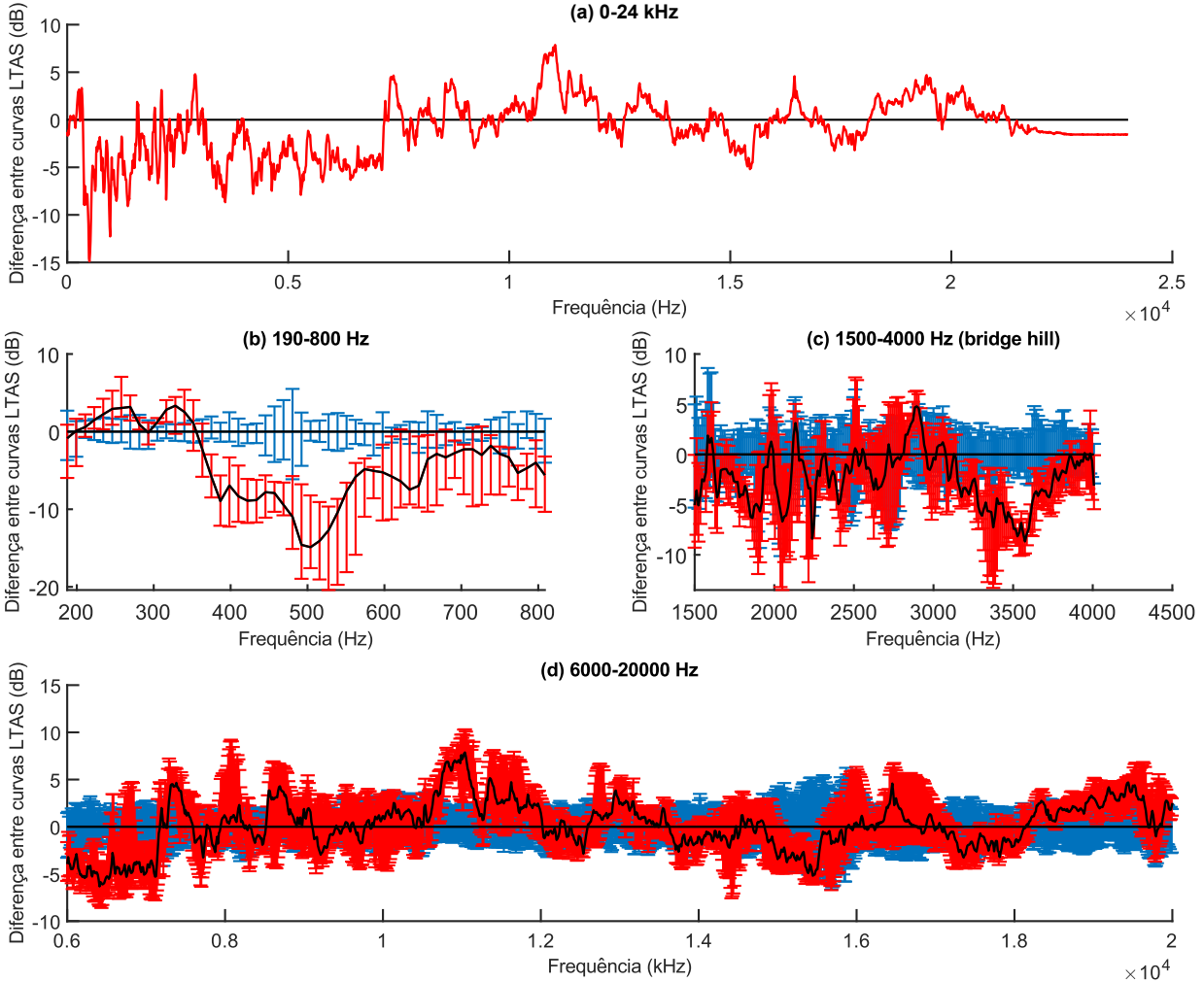
Tabela 4.26: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDDA (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEbSegGDDA | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbSegGDDA | 30,14 | 28,65 | 24,03 | 25,82 | 30,92 |
| % redução de intensidade * | 28,7% | 27,3% | 34,9% | 16,8% | 23,0% |
| desvio padrão * | 1,41 | 1,44 | 1,49 | 1,94 | 1,28 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbSegGDDA | 0,31 | 0,41 | 6,88 | 5,04 | 0,61 |
| desvio padrão | 1,20 | 1,35 | 2,66 | 1,34 | 0,85 |

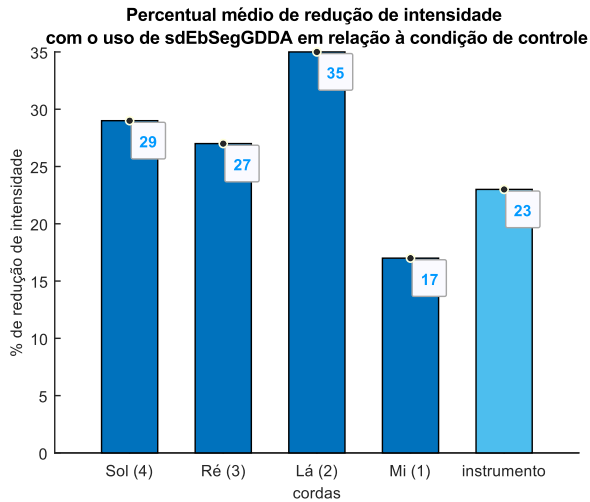
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.27 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEbSegGDDA) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de sdEbSegGDDA



(e)



4.1.5.12 Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE)

- ébano; 0,8 cm x 3 cm x 0,75 cm; 2,00 gramas cada dente (total 4,00 gramas);

Figura 4.26 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes).



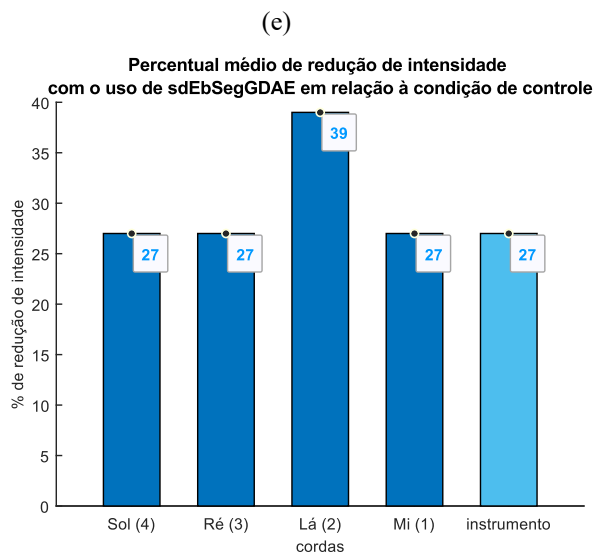
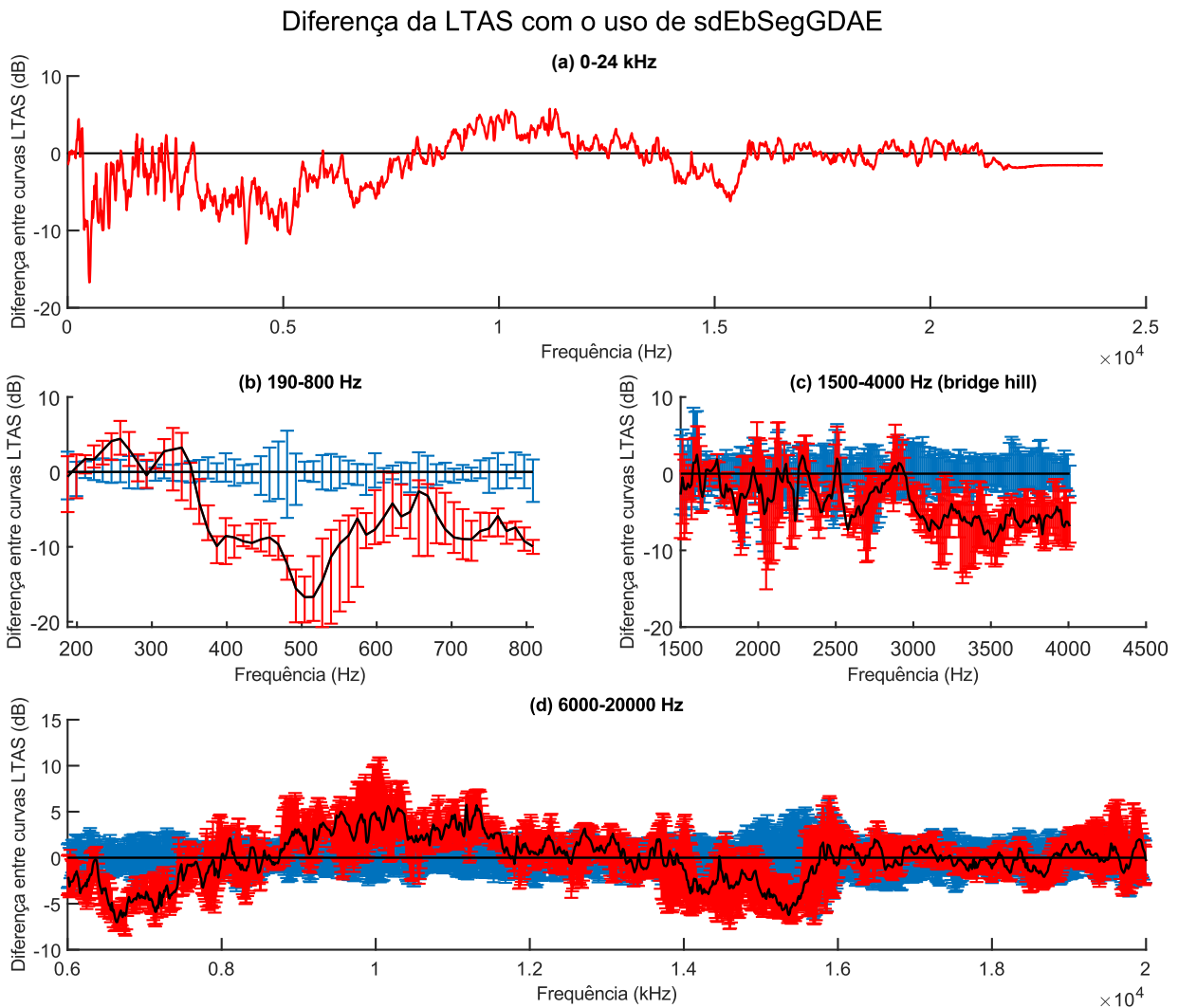
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.27: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDAE (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEbSegGDAE | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbSegGDAE | 30,58 | 28,62 | 23,09 | 23,90 | 30,05 |
| % redução de intensidade * | 27,0% | 27,4% | 39,1% | 26,9% | 26,6% |
| desvio padrão * | 1,40 | 1,45 | 1,37 | 1,39 | 1,17 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbSegGDAE | 0,39 | 0,45 | 5,91 | 5,67 | 0,66 |
| desvio padrão | 1,68 | 1,24 | 2,55 | 1,40 | 0,96 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.28 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.5.13 Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE)

- ébano; 0,8 cm x 3 cm x 0,75 cm; 2,00 gramas cada dente (total 4,00 gramas);

Figura 4.27 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (dois dentes).



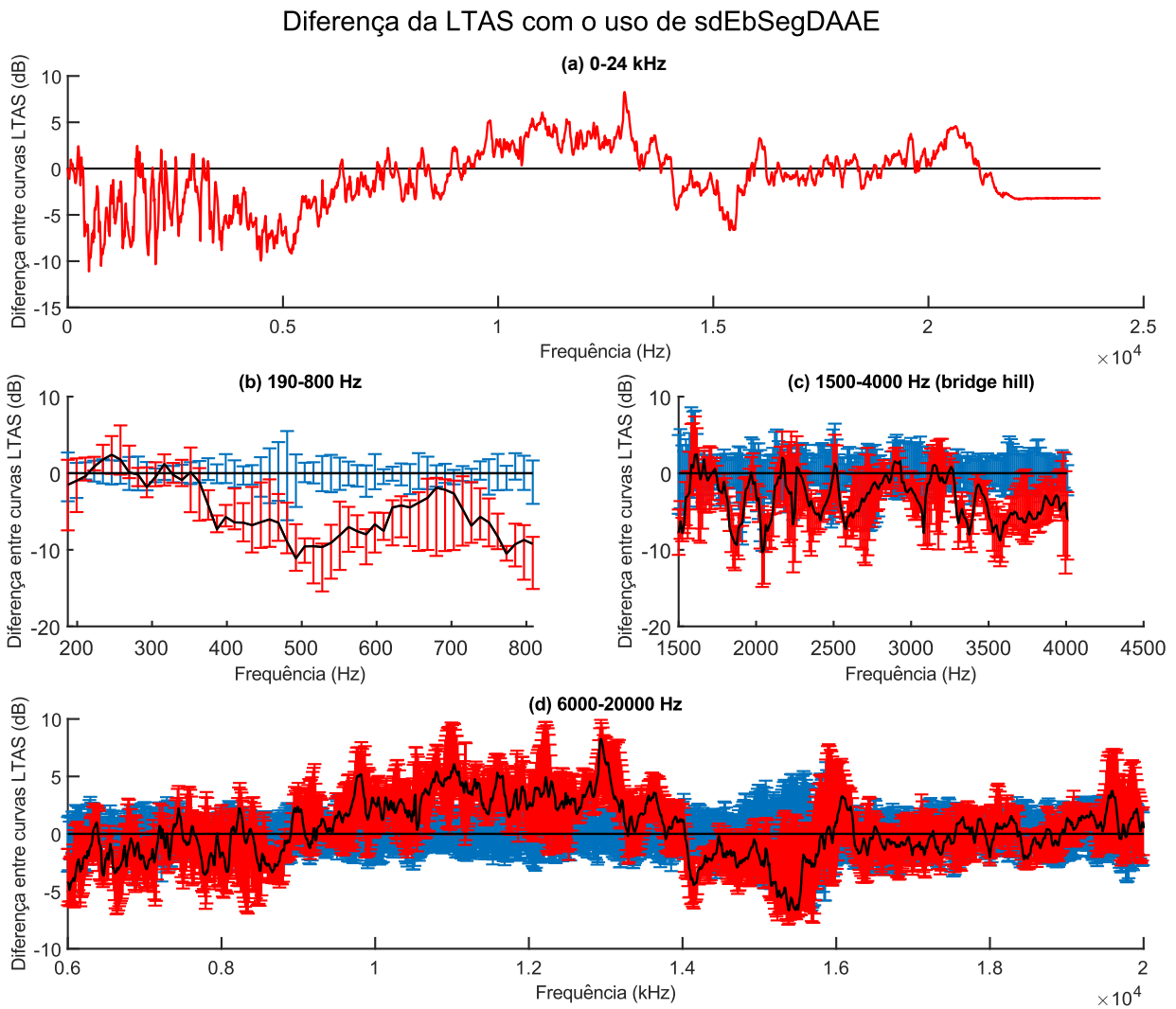
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.28: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegDAAE (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

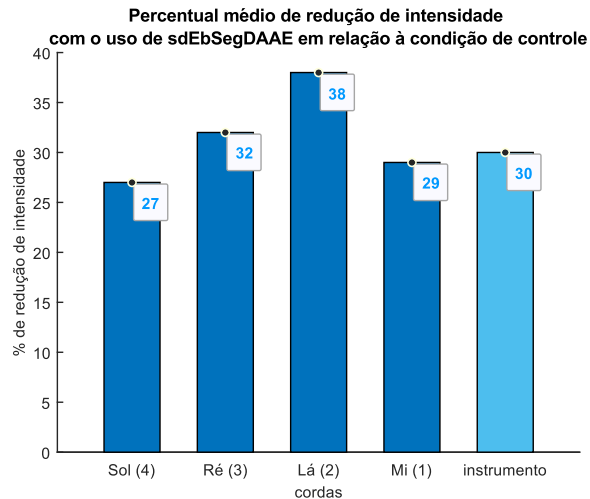
| sdEbSegDAAE | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbSegDAAE | 30,46 | 27,54 | 23,30 | 23,43 | 29,31 |
| % redução de intensidade * | 27,4% | 31,9% | 38,2% | 29,2% | 29,5% |
| desvio padrão * | 1,43 | 1,33 | 1,37 | 1,37 | 1,07 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbSegDAAE | 0,59 | 0,55 | 5,04 | 6,14 | 0,75 |
| desvio padrão | 2,83 | 1,51 | 2,57 | 2,00 | 1,31 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.29 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de dois dentes entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



(e)



4.1.5.14 Surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de três dentes, entre as cordas Sol/Ré, Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegGDDAAE)

- ébano; 0,8 cm x 3 cm x 0,75 cm; 2,00 gramas cada dente (total 6,00 gramas);

Figura 4.28 – Surdina de ébano menor segmentada em três partes (três dentes).



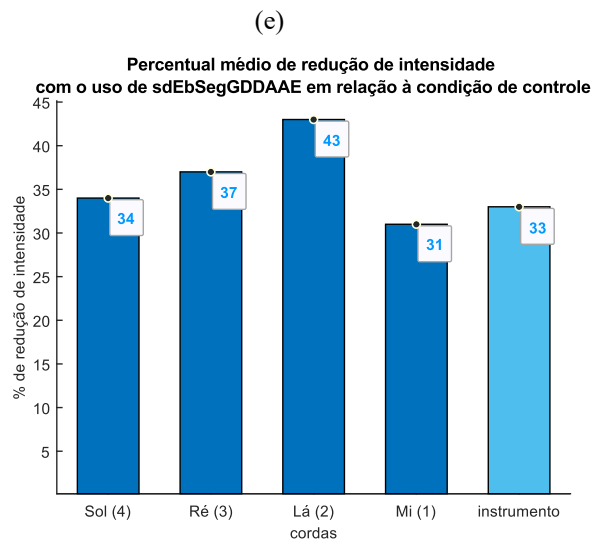
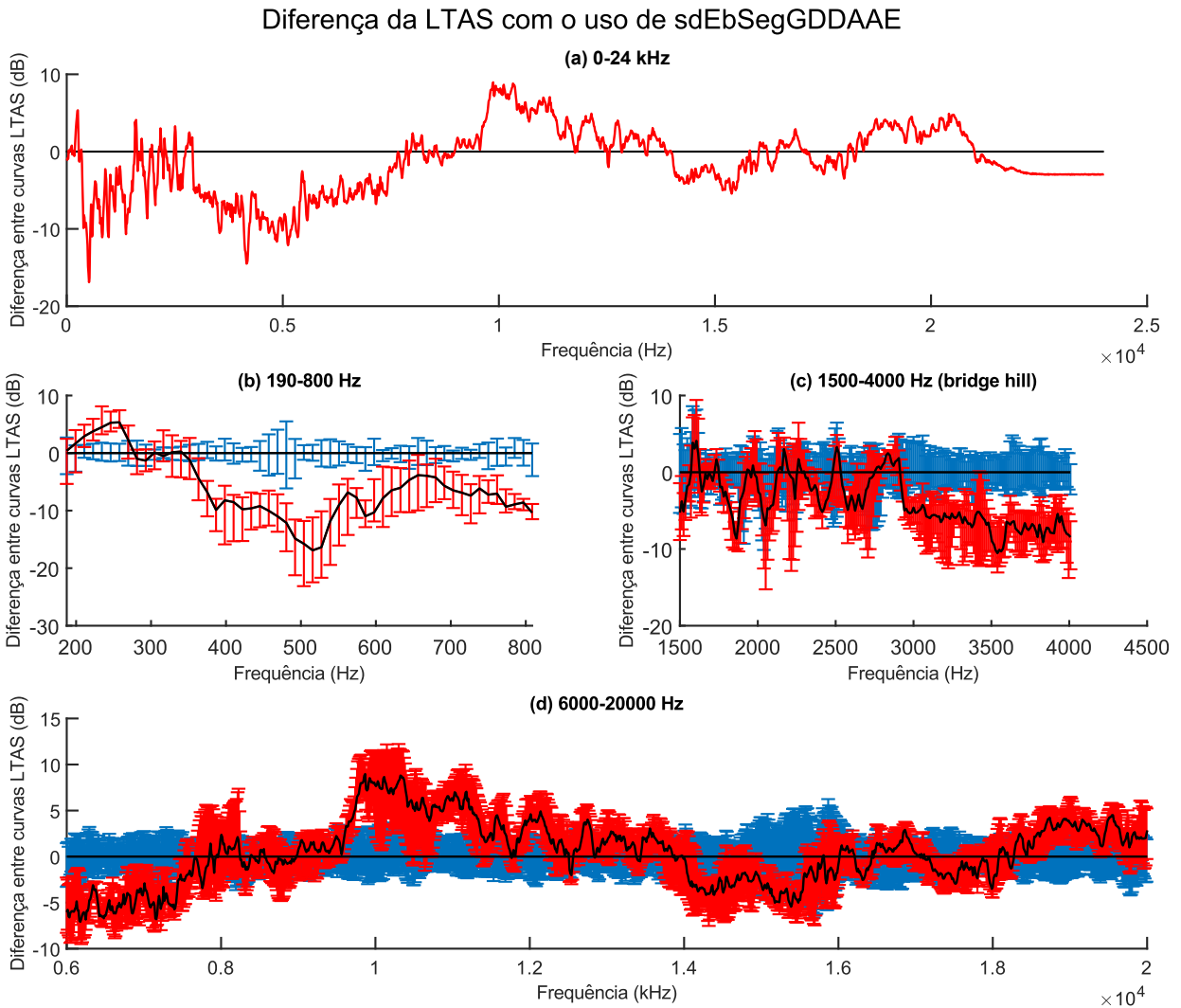
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.29: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdEbSegGDDAAE (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdEbSegGDDAAE | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdEbSegGDDAAE | 28,84 | 26,35 | 22,26 | 23,15 | 28,48 |
| % redução de intensidade * | 33,7% | 36,7% | 42,7% | 30,6% | 32,8% |
| desvio padrão * | 1,19 | 1,42 | 1,36 | 1,36 | 0,94 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbSegGDDAAE | 0,52 | 0,60 | 6,09 | 5,14 | 0,83 |
| desvio padrão | 2,20 | 0,77 | 2,77 | 1,50 | 1,12 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.30 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina de ébano menor segmentada em três partes com utilização de três dentes entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDDAAE) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.6 Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2)

- chumbo; 5,5cm x 2,8cm x 1,7cm; 168,50 gramas;

Figura 4.29 – Réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2).



(fonte: imagem própria)

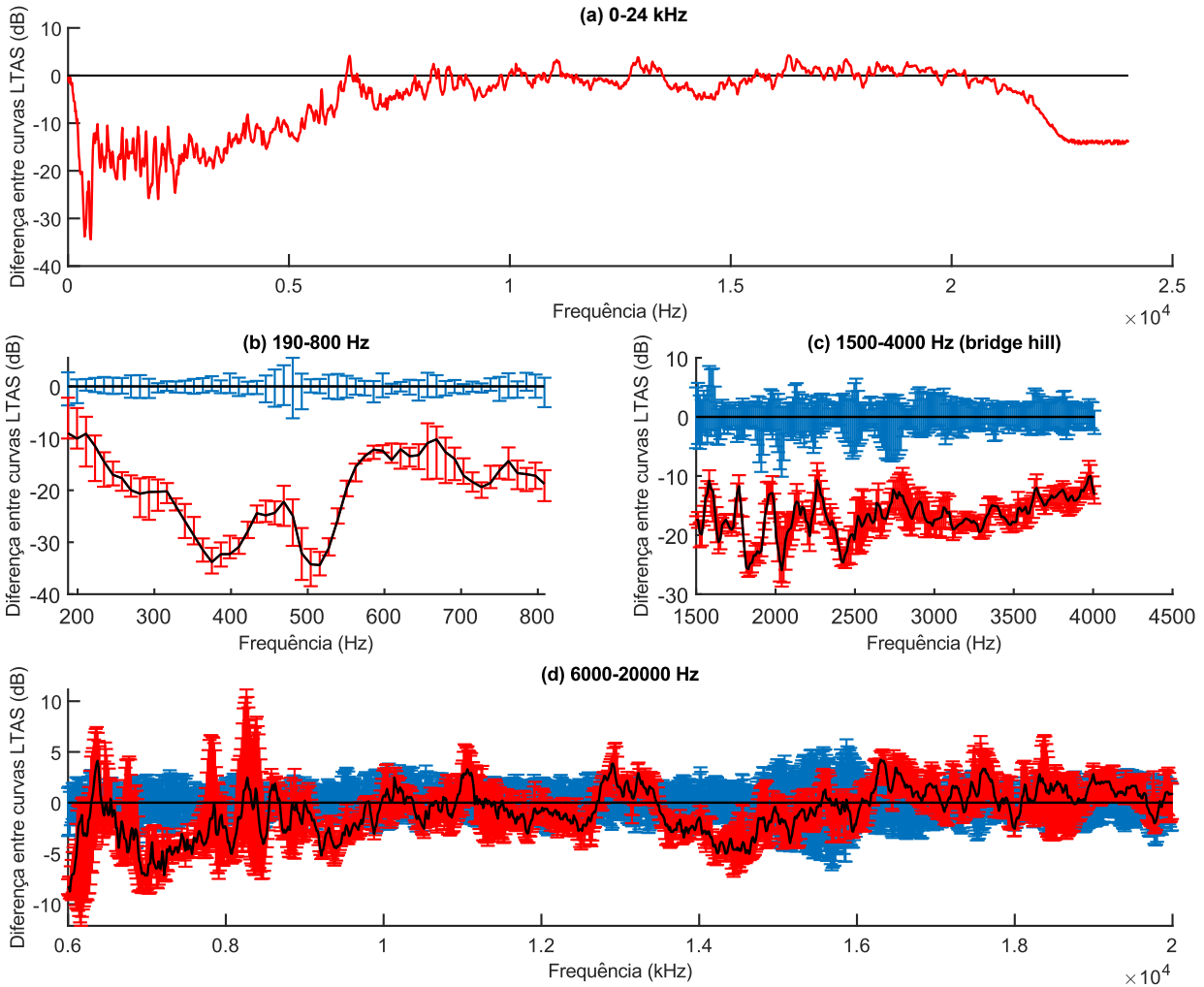
Tabela 4.30: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de repChbabfMt2 (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| repChbabfMt2 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| repChbabfMt2 | 12,73 | 12,28 | 11,30 | 11,43 | 13,15 |
| % redução de intensidade * | 83,0% | 82,2% | 81,4% | 78,5% | 81,4% |
| desvio padrão * | 1,93 | 2,10 | 1,88 | 2,59 | 1,58 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| repChbabfMt2 | 15,30 | 15,60 | 20,25 | 16,62 | 16,28 |
| desvio padrão | 3,53 | 1,82 | 2,10 | 1,28 | 2,33 |

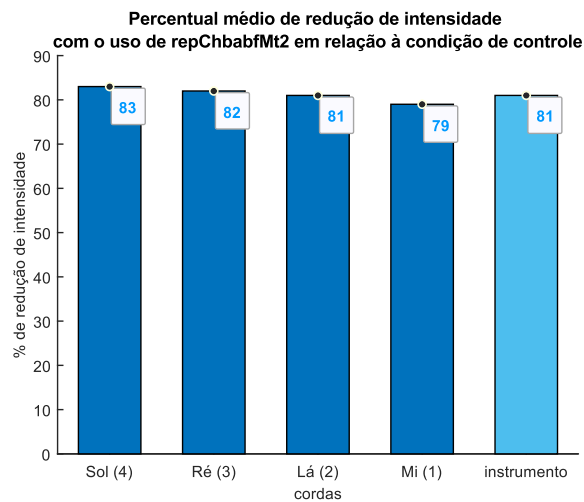
* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.31 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da réplica de chumbo do abafador de metal revestido (repChbabfMt2) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 6.000-20.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.

Diferença da LTAS com o uso de repChbabfMt2



(e)



4.1.7 Surdinas inseridas parcialmente no cavalete

4.1.7.1 Surdina Heifetz inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP)

- metal revestido de borracha; 1,2 cm x 1,6 cm x 0,9 cm; 2,56 gramas;

Figura 4.30 – Surdina Heifetz com um dente, inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP).



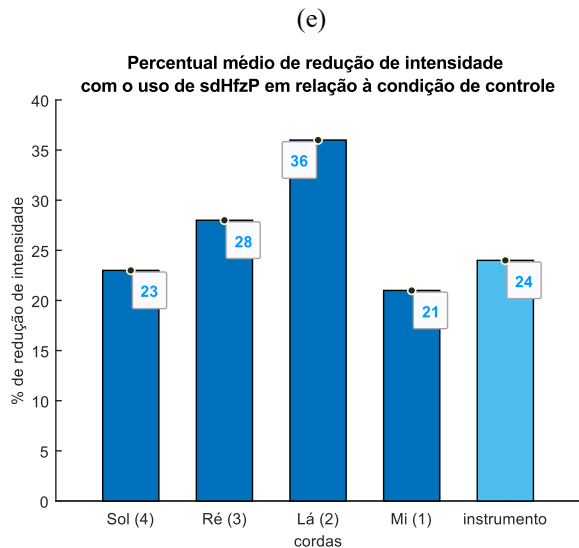
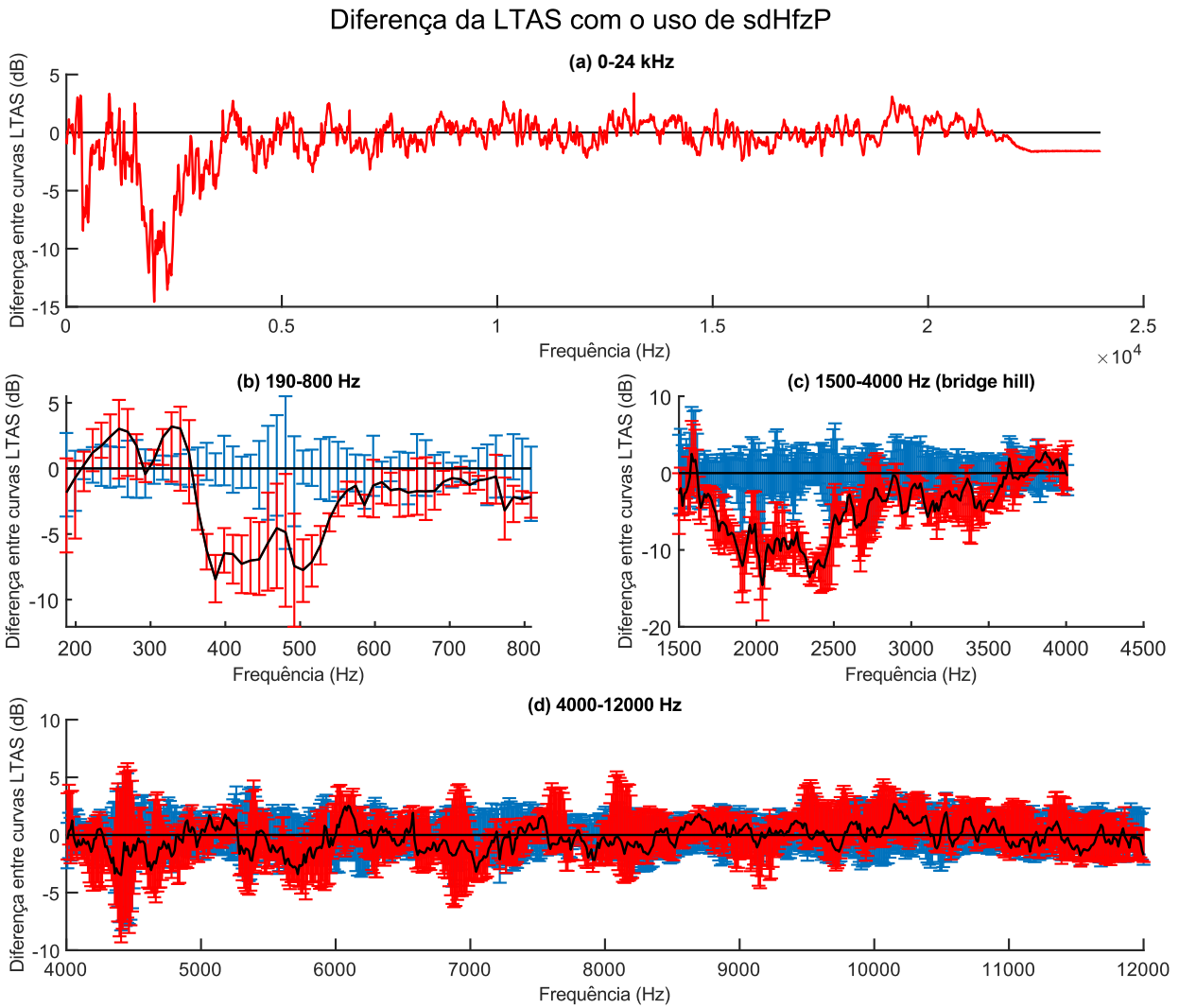
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.31: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de sdHfzP (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| sdHfzP | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| sdHfzP | 31,69 | 28,49 | 23,90 | 24,97 | 30,71 |
| % redução de intensidade * | 22,5% | 28,0% | 35,5% | 21,4% | 23,9% |
| desvio padrão * | 0,95 | 0,90 | 0,99 | 0,98 | 0,64 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdHfzP | 0,50 | 0,48 | 4,84 | 5,39 | 0,66 |
| desvio padrão | 2,43 | 0,88 | 2,73 | 1,34 | 0,70 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.32 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso da surdina Heifetz inserida parcialmente no cavalete (sdHfzP) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.000-12.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



4.1.7.2 Abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P)

- metal leve; 3,0 cm x 2,8 cm x 0,9 cm; 15,55 gramas;

Figura 4.31 – Abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P).



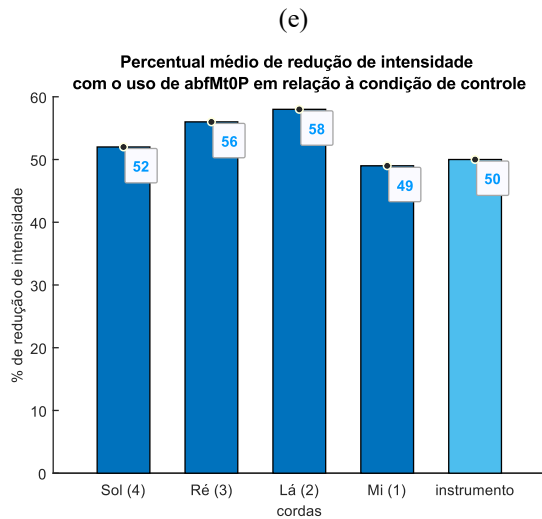
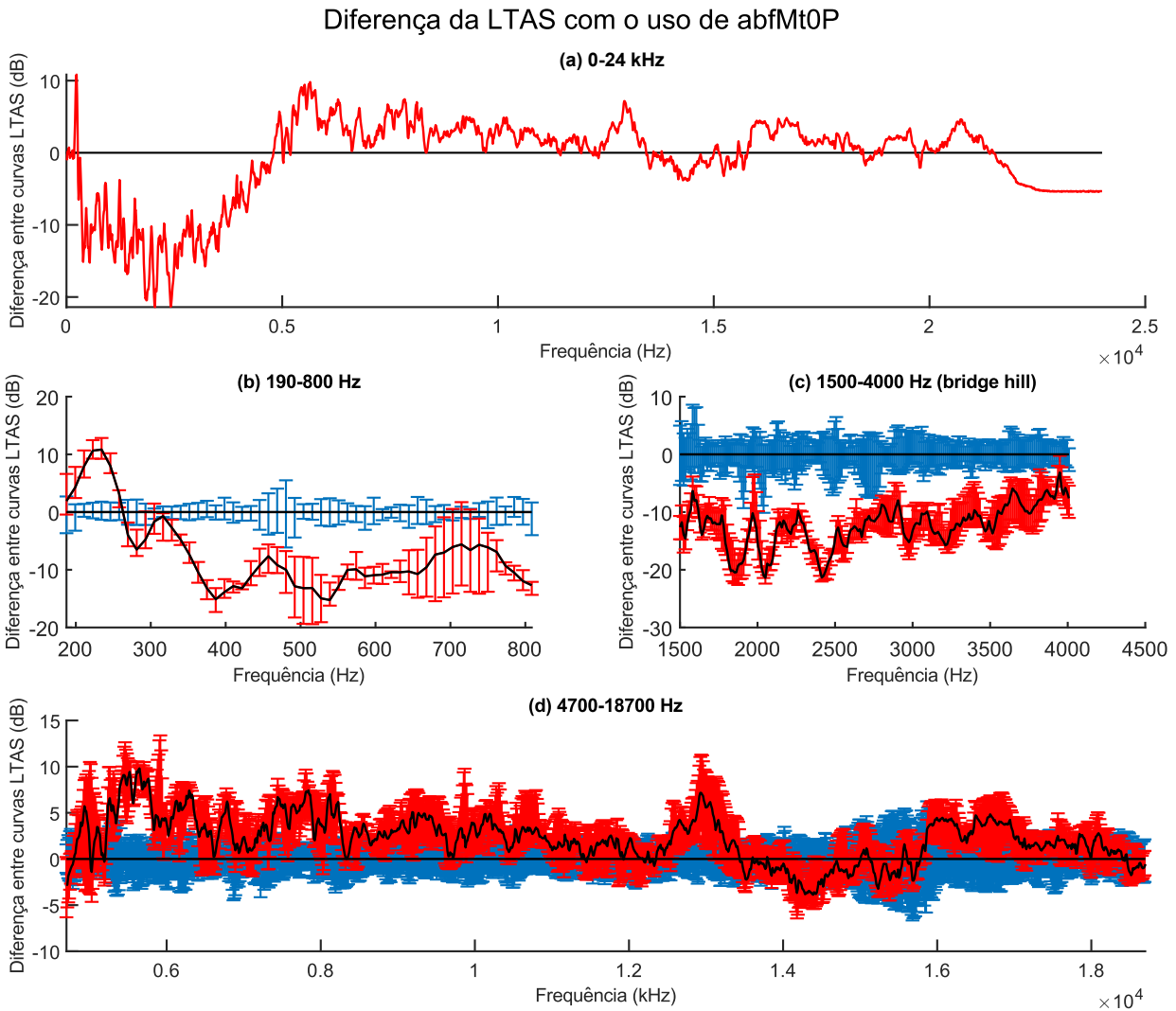
(fonte: imagem própria)

Tabela 4.32: Médias dos *Loudness*, dos percentuais de redução da intensidade em relação à condição de controle, com os respectivos desvios padrão, e média dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem com o uso de abfMt0P (médias dos *Loudness* e dos percentuais de participação do residual não-harmônico, com os respectivos desvios padrão, de toda a amostragem da condição de controle, incluídos como referência).

| abfMt0P | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| corda | | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | amostra inteira |
| <i>Loudness (sones)</i> | | | | | |
| condição de controle | 36,95 | 34,71 | 31,13 | 28,85 | 36,18 |
| abfMt0P | 23,74 | 21,30 | 18,52 | 19,15 | 23,74 |
| % redução de intensidade * | 52,0% | 55,6% | 57,8% | 49,4% | 50,3% |
| desvio padrão * | 1,64 | 1,60 | 1,32 | 1,60 | 1,30 |
| <i>Percentual de participação do residual não-harmônico (%)</i> | | | | | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt0P | 0,66 | 0,93 | 8,86 | 14,75 | 1,62 |
| desvio padrão | 2,11 | 1,20 | 2,29 | 1,48 | 1,38 |

* calculado a partir dos valores de *loudness* em *sones* convertidos em *phons* (vide seção 3.5.1).

Gráfico 4.33 – Diferença entre a mediana da LTAS com o uso do abafador de metal leve com três dentes, inserido parcialmente no cavalete (abfMt0P) em relação à mediana da condição de controle em (a) 0-24 kHz, (b) 190-800 Hz, (c) 1.500-4.000 Hz e (d) 4.710-18.000 Hz, e (e) percentual médio de redução de intensidade em relação à condição de controle.



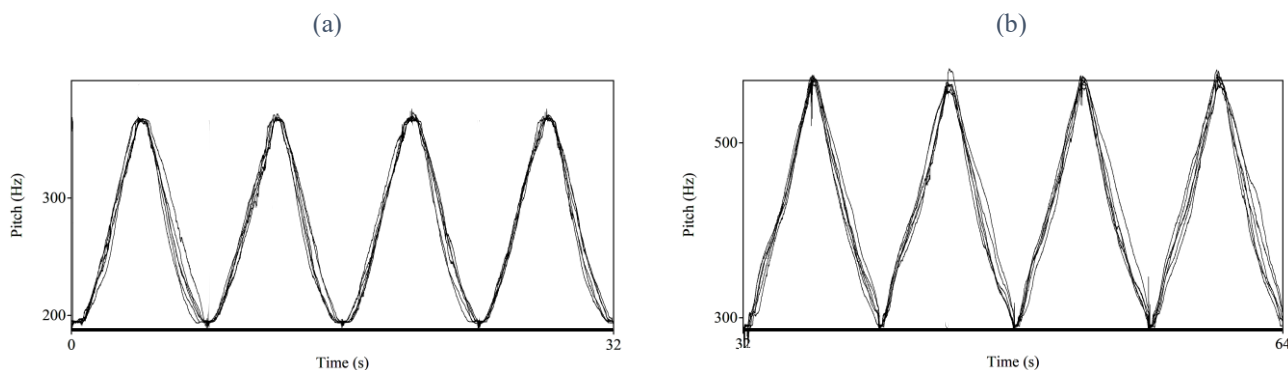
4.2 Controle de amostragem

Foi acompanhada, ao longo do processo de amostragem, a adoção do *Protocolo de execução instrumental* pelos musicistas participantes, sendo feita uma série de análises dos resultados obtidos para verificação da eficiência das medidas de padronização adotadas em todo o processo de amostragem. Embora sejam apresentados aqui apenas exemplos extraídos da condição de controle, por ter sido registrada pelos quatro executantes e por possuir um maior número de amostras, todas as conclusões expostas foram verificadas, também, com grandes similaridades, em exemplos de todas as condições de estudo registradas, escolhidos aleatoriamente dentre o conjunto de gravações reunidos pela pesquisa.

4.2.1 *Glissandos*

A regularidade na repetição dos glissandos utilizados nas gravações foi analisada por meio da comparação dos perfis melódicos. Conforme pode ser observado nos gráficos¹⁸⁹ 4.33 e 4.35, que apresentam a sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações, feitas por cada um dos quatro executantes que registraram a condição de controle, dos oito glissandos de cada corda, houve uma grande regularidade no desenvolvimento melódico ao longo do tempo das repetições da extensão registrada em cada corda, independentemente da direção da arcada (metade dos registros tem a direção do arco ao contrário da outra metade¹⁹⁰).

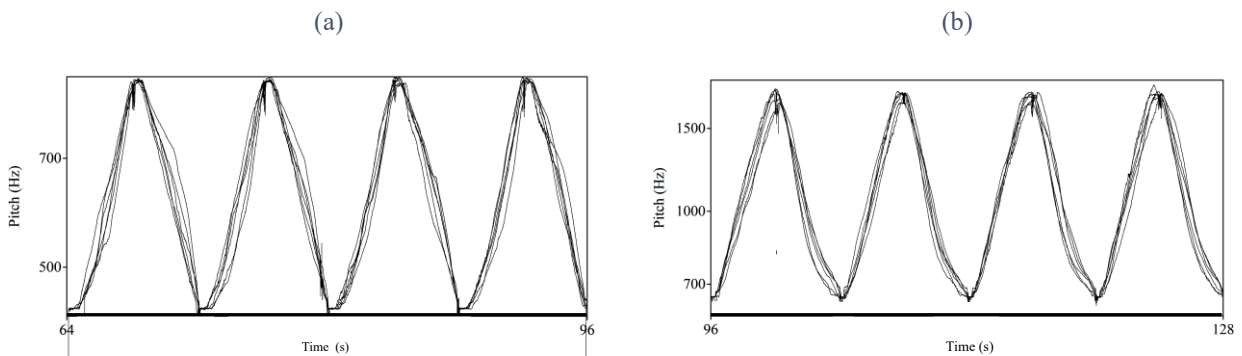
Gráfico 4.34 – (a) Sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Sol, registrados pelo sujeito 2 com o violino 2, para a condição de controle e (b) sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Ré, registrados pelo sujeito 3 com o violino 2, para a condição de controle.



¹⁸⁹ Os gráficos de perfis melódicos dos glissandos foram feitos com o programa Praat versão 6.1.01.

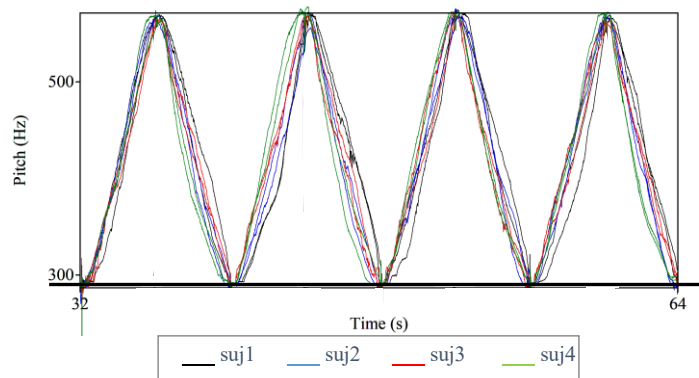
¹⁹⁰ Vide subseção 3.4.4.

Gráfico 4.35 – (a) Sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Lá, registrados pelo sujeito 1 com o violino 1, para a condição de controle e (b) sobreposição dos perfis melódicos das seis gravações dos oito glissandos na corda Mi, registrados pelo sujeito 4 com o violino 1, para a condição de controle.



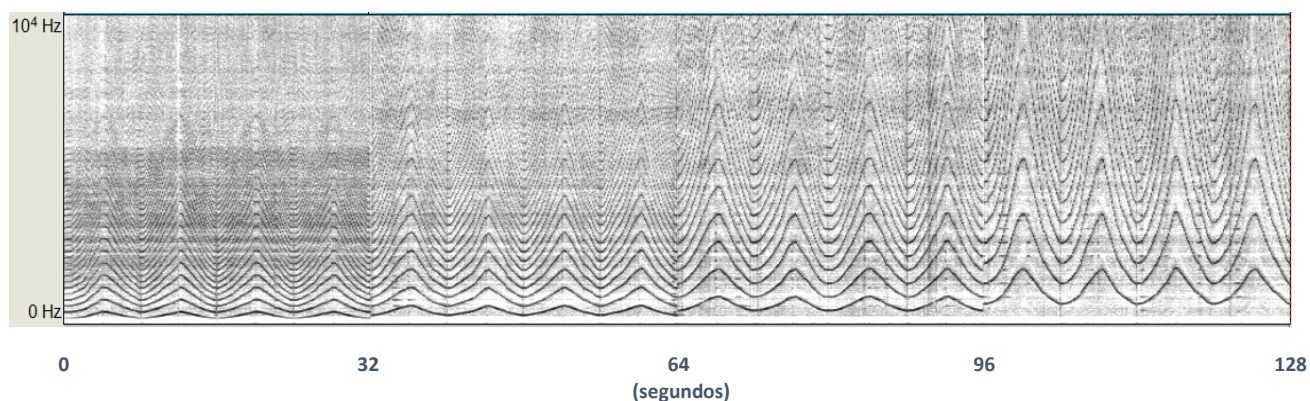
Na comparação entre os registros feitos por diferentes participantes percebe-se uma variação um pouco maior entre os perfis melódicos, como pode ser observado no gráfico 4.36, onde é apresentada a sobreposição dos perfis melódicos de duas das gravações dos oito glissandos na corda Ré, registradas por cada um dos quatro sujeitos com o violino 1, para a condição de controle. A pequena diferença pode ser indicativa de que cada um dos executantes desenvolveu um padrão particular de reprodução das instruções apresentadas sem maior impacto na regularidade geral observada.

Gráfico 4.36 – Sobreposição dos perfis melódicos de duas das gravações dos oito glissandos na corda Ré, registradas por cada um dos quatro sujeitos com o violino 1, para a condição de controle.



Na figura 4.32 é apresentado um espectrograma de uma das amostras da condição de controle, onde percebe-se que as parciais harmônicas acompanharam o desenvolvimento temporal das frequências fundamentais de forma totalmente regular, permanecendo nitidamente diferenciadas ao longo de toda a extensão amostrada.

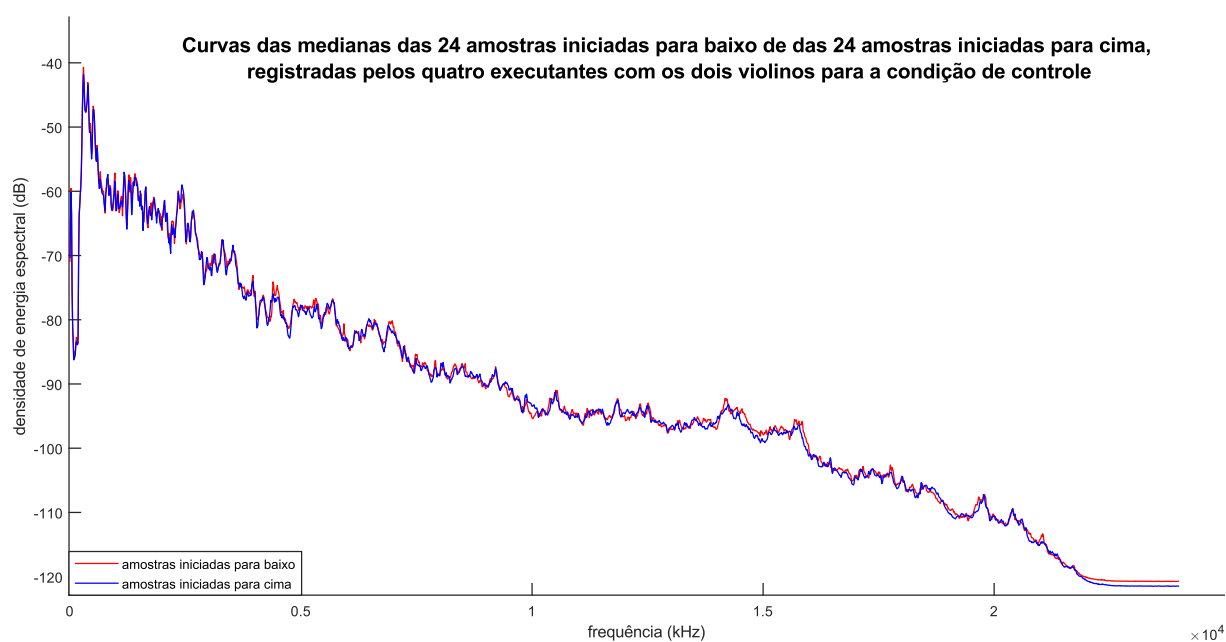
Figura 4.32 – Espectrograma de uma amostra gravada pelo sujeito 1 com o violino 2 para a condição de controle.



4.2.2 Direção das arcadas e LTAS

Em relação à direção das arcadas não foi observado impacto maior desse fator nas curvas de LTAS. Foi feita a mediana das LTAS das 24 amostras iniciadas para baixo e das 24 iniciadas para cima¹⁹¹, gravadas pelos quatro executantes, com os dois violinos, para a condição de controle, ou seja, com a direção das arcadas invertida nos dois conjuntos, havendo grande similaridade entre as duas curvas, como pode ser observado no gráfico 4.37.

Gráfico 4.37 – Curvas das medianas das LTAS das 24 amostras iniciadas para baixo e das 24 amostras iniciadas para cima, registradas pelos quatro executantes com os dois violinos para a condição de controle.



¹⁹¹ Vide subseção 3.4.4.

Também as análises feitas em uma mesma amostra, agrupando os glissandos iniciados com o arco para baixo e os iniciados com o arco para cima, não mostraram diferença significativa nas LTAS, entre as duas situações, como exemplificam os gráficos 4.38 e 4.39.

Gráfico 4.38 – Curvas das medianas das LTAS dos 16 glissandos iniciados para baixo e dos 16 iniciados para cima de uma amostra registrada pelo sujeito 1 com o violino um para a condição de controle (amostra iniciada para baixo).

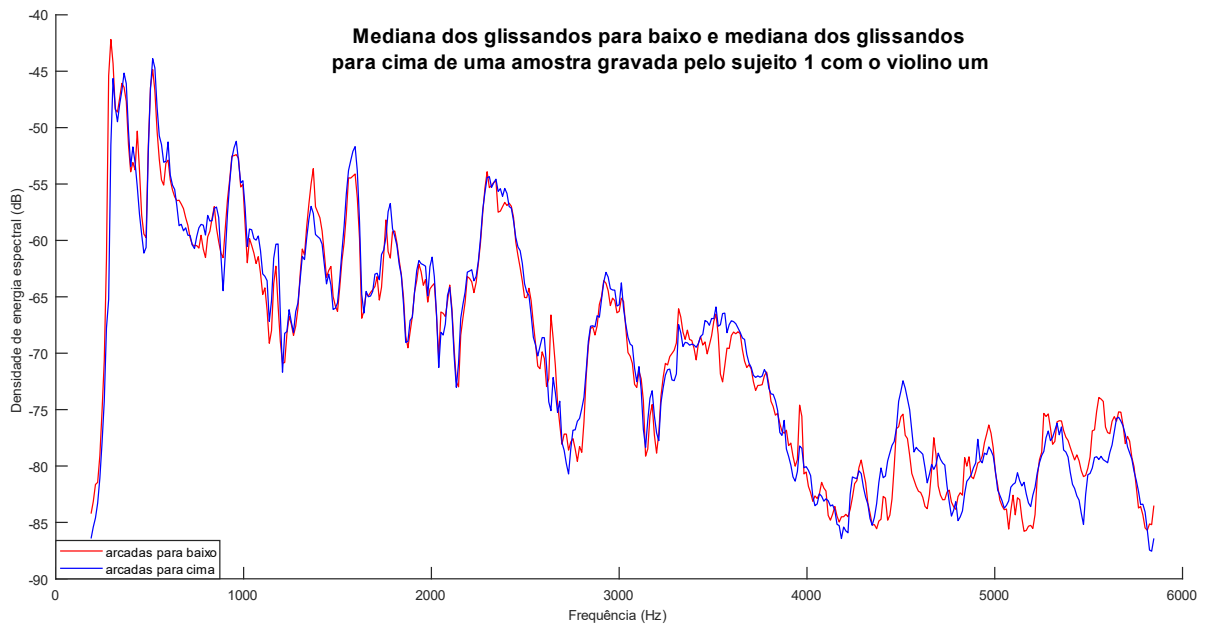
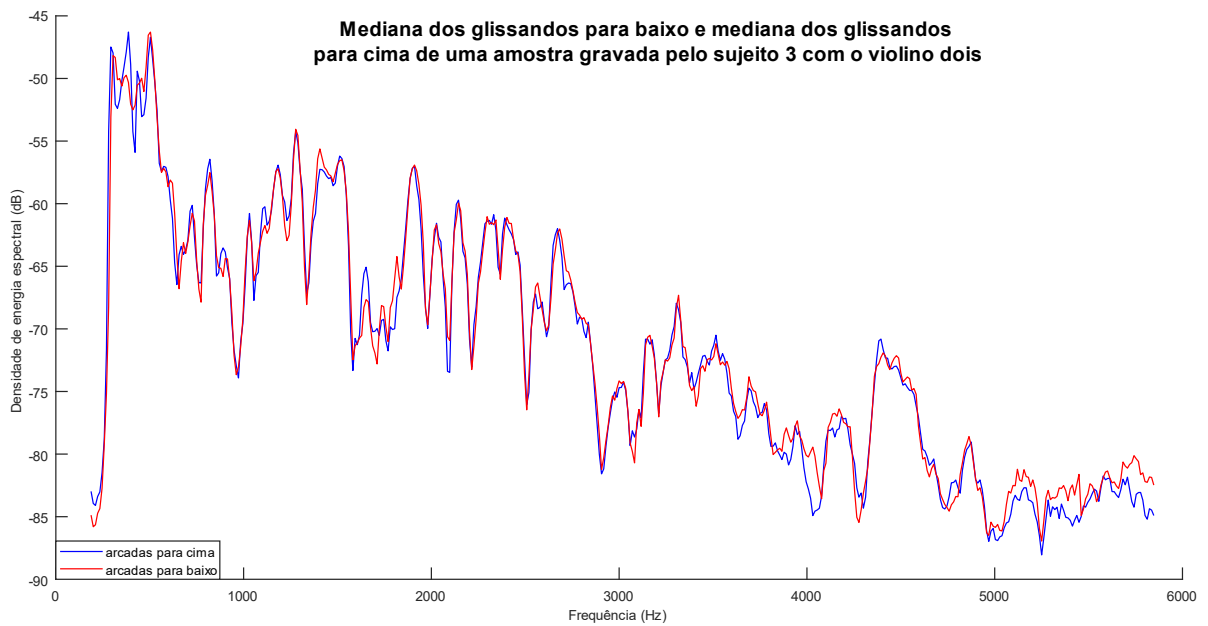


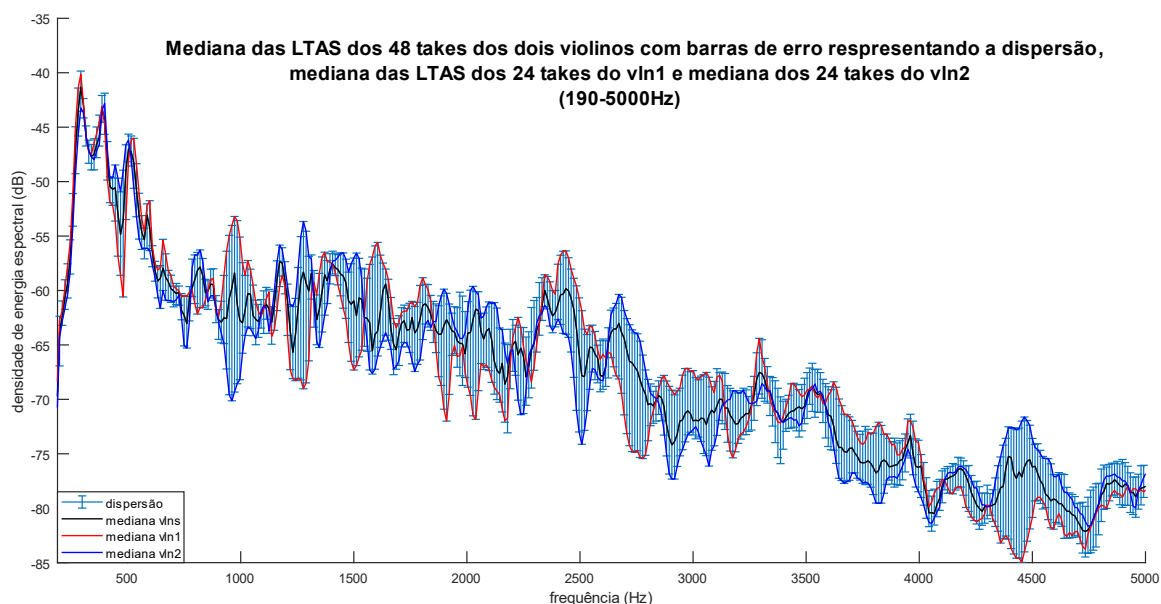
Gráfico 4.39 – Curvas das medianas das LTAS dos 16 glissandos iniciados para cima e dos 16 iniciados para baixo de uma amostra registrada pelo sujeito 3 com o violino dois para a condição de controle (amostra iniciada para cima).



4.2.3 Comparação entre os violinos

Na observação das medianas das LTAS das 24 amostras registradas pelos quatro executantes para cada violino, na condição de controle, percebem-se diferenças claras na distribuição da energia espectral, resultantes das características acústicas específicas de cada um dos instrumentos, como pode ser visto no gráfico 4.40. As diferenças de sonoridade de cada um dos instrumentos são refletidas em seus respectivos espectros, podendo ser atribuídas às suas particularidades de construção e montagem.

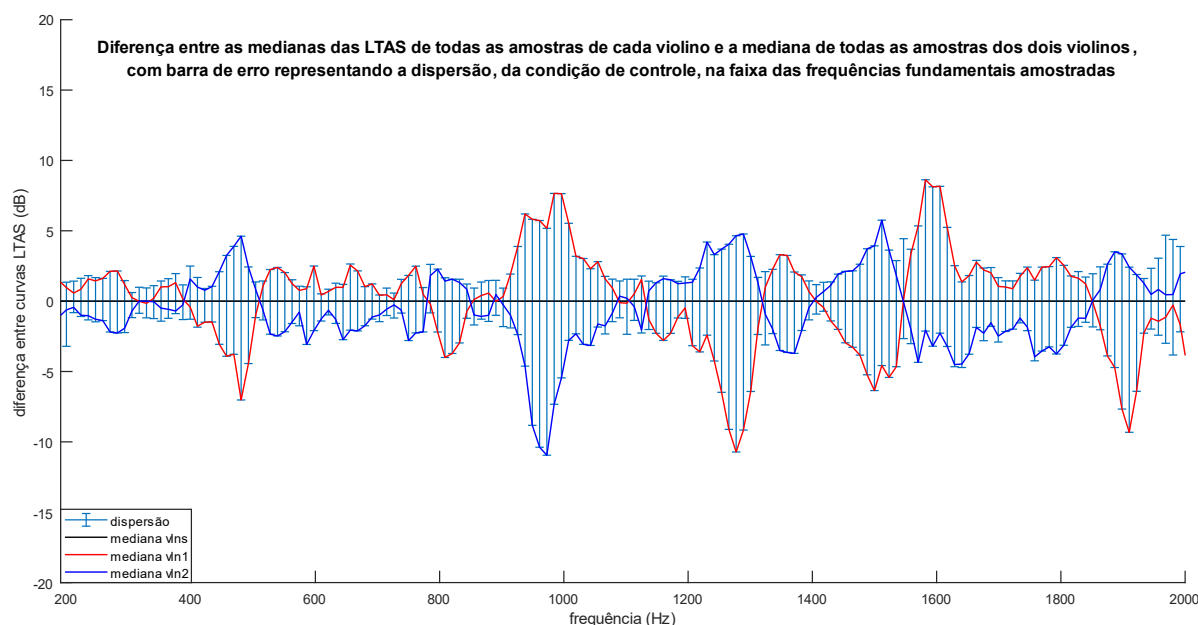
Gráfico 4.40 – Curvas das medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino um, medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino dois e medianas, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas com os dois violinos, para a condição de controle.



Apesar das diferenças, porém, há um perfil comum na curva descrita pelas medianas de cada um dos instrumentos, que em vários pontos se aproximam bastante da mediana dos dois instrumentos juntos (como se vê até os 700Hz, por volta de 2.300Hz, 3.500Hz etc.), mantendo determinado grau de proximidade ao longo de toda a faixa de frequências abarcada pelo espectro. No gráfico 4.41, onde é representada a diferença entre as medianas das LTAS dos registros de cada violino e a mediana dos registros dos dois instrumentos juntos, na faixa de frequência abarcada pelas frequências fundamentais amostradas (até 2.000 Hz), pode ser observado que as diferenças das medianas de cada um dos violinos alternam-se acima ou abaixo da mediana dos dois instrumentos juntos, de acordo com a frequência, não se definindo uma tendência de alteração geral da curva espectral de algum dos instrumentos em relação à mesma,

o que pode ser relacionado ao fato da intensidade geral (*loudness*) dos dois instrumentos ser bem próxima (37 *sones* para o vln1 e 35 *sones* para o vln2).

Gráfico 4.41 – Diferença entre as medianas das LTAS das 24 amostras registradas com o violino um e das 24 amostras registradas com o violino dois em relação à medianas, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas com os dois violinos, para a condição de controle.



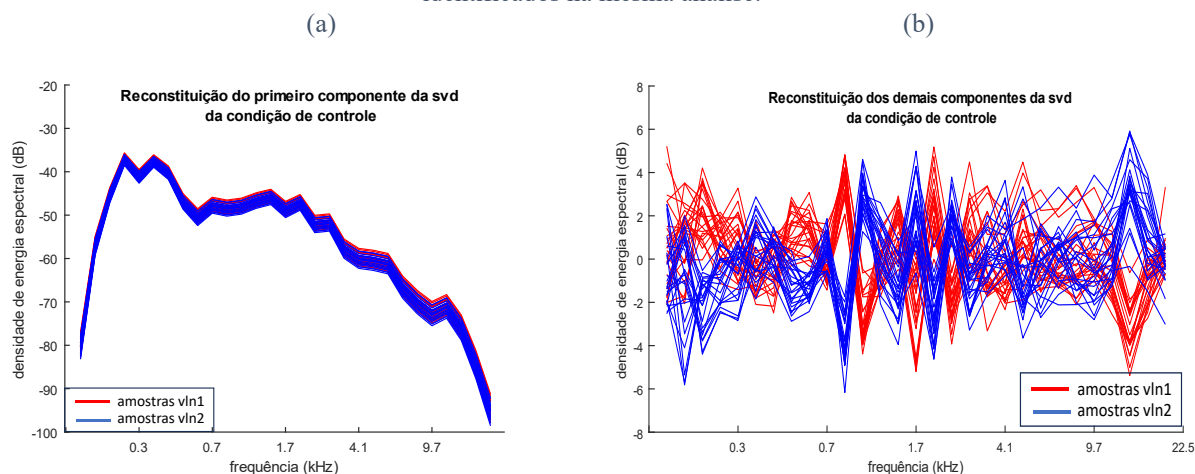
Além da comparação das medianas das amostras de cada um dos dois instrumentos com a mediana das amostras dos dois instrumentos, foi feita uma Decomposição em Valores Singulares (SVD) da matriz das LTAS com dados reduzidos¹⁹² de 47 amostras¹⁹³ da condição de controle. Como pode ser observado no gráfico 4.42a, no qual é representada a reconstituição do componente principal, com contribuição superior a 90% da variação das curvas, identificado na SVD, há grande similaridade entre as curvas das amostras dos dois violinos, que praticamente se sobrepõem. Os demais componentes reunidos, que isoladamente não apresentam uma porcentagem significativa de contribuição às variações, são reconstituídos no gráfico 4.42b, onde se observa em vários pontos, momentos em que as curvas relativas aos dois instrumentos se contrapõem, indicando uma diferenciação entre as amostras dos dois

¹⁹² Vide subseção 3.5.4.

¹⁹³ Os resultados da decomposição em valores singulares revelaram que uma das amostras das 48 utilizadas para a condição de controle apresentava valores muito discrepantes em relação às demais. Verificando-se essa amostra, percebeu-se que havia alguns poucos ruídos, de duração muito curta, originados de alguma falha elétrica durante a gravação da mesma, que afetaram o espectro em seu extremo grave, abaixo de 196 Hz, frequência fundamental mais grave amostrada. Apesar dessa ocorrência não gerar perturbação nas medianas das LTAS, nem nas outras médias de mensurações realizadas, na decomposição produziram dados totalmente incongruentes com os demais *takes*. Por esse motivo, essa amostra, com essa falha de registro, foi excluída desse procedimento.

instrumentos, porém, com um peso bastante reduzido, corroborando as similaridades observadas pelas curvas de medianas das LTAS.

Gráfico 4.42 – (a) Reconstituição do componente principal identificado pela SVD das 47 amostras da condição de controle analisadas e (b) reconstituição dos demais componentes identificados na mesma análise.

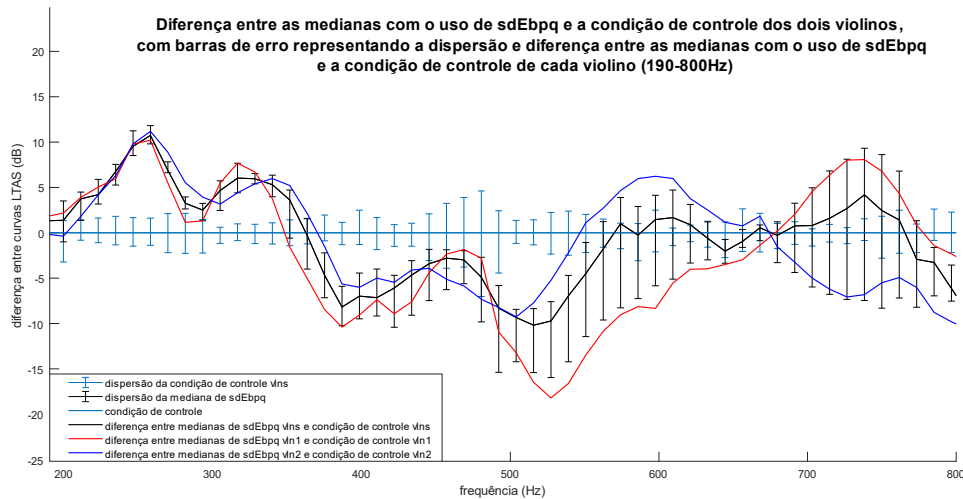


A variação das medianas das LTAS dos dois instrumentos com o uso das surdinas, sobretudo nos pontos de maior diferenciação com a condição de controle, tende a apresentar alterações comuns, como é exemplificado nos gráficos 4.43 e 4.44. Ambos apresentam a diferença entre as medianas com o uso da surdina de ébano menor (sdEbpbq) e a condição de controle dos dois violinos juntos e a diferença entre as medianas, na mesma condição de estudo, e a condição de controle de cada violino. No gráfico 4.44, que abrange a faixa entre os 190 e 800Hz, região grave do espectro¹⁹⁴, de particular importância para o presente estudo por concentrar algumas das alterações espectrais mais importantes provocadas pelas surdinas, pode-se observar que a alteração de melhor definição, onde o uso dessa surdina provoca aumento de energia entre os 190 e 380Hz, o comportamento das medianas das LTAS de cada violino e das LTAS dos dois é extremamente próximo. Já na faixa entre os 500 e os 800Hz percebe-se uma diferenciação significativa entre as curvas de cada um dos dois instrumentos, com o vln2 apresentando um pico de energia por volta dos 600Hz enquanto o vln1 apresenta pico similar, porém, por volta dos 750Hz, ou seja, ambos os instrumentos apresentaram um segundo pico de ganho no espectro antes dos 800Hz. Mesmo com essa diferença, porém, a mediana das LTAS

¹⁹⁴ Como referência às regiões do espectro harmônico do violino serão consideradas: região grave do espectro de 196 a 800 Hz (196 a 400, extremo grave); região média do espectro de 800 a 6400 Hz; e região aguda do espectro de 6.400 a 24.000 Hz (12.800 a 24.000, extremo agudo). Essa divisão se refere à distribuição de energia espectral, não aos diferentes registros do instrumento, relacionados às frequências das fundamentais das notas e, geralmente, classificados em termos de oitavas.

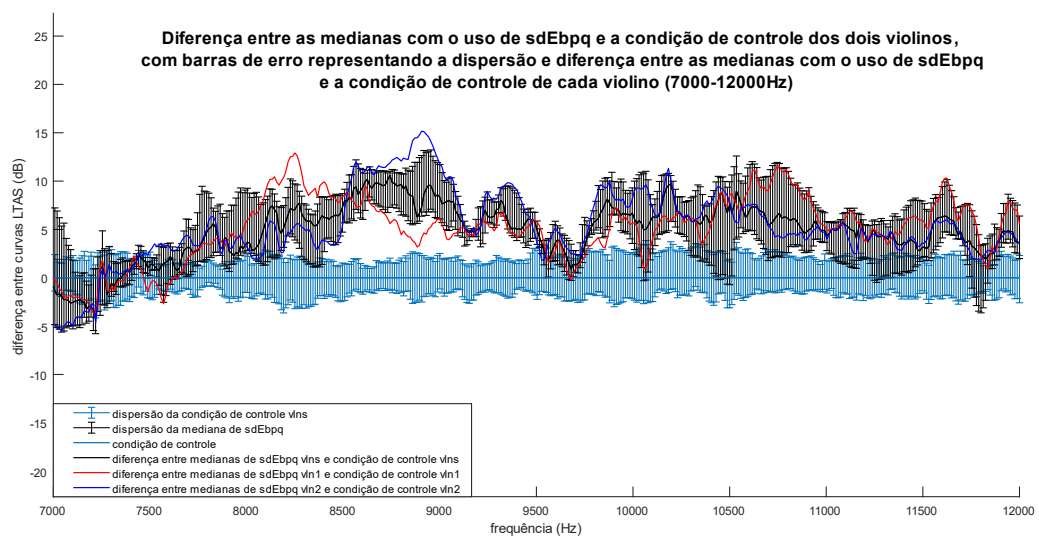
dos dois instrumentos juntos reflete em seu perfil, em certa medida, a tendência de alteração produzida pela surdina nessa região do espectro.

Gráfico 4.43 – Diferença entre as medianas com o uso da surdina de ébano menor e a condição de controle dos dois violinos, com barra de erros de dispersão, e a diferença entre as medianas, na mesma condição de estudo, e a condição de controle de cada violino, com barra de erros de dispersão (190-800 Hz).



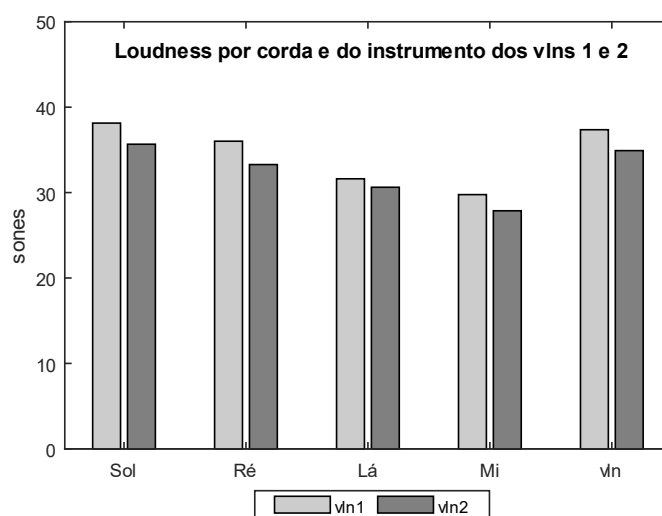
Da mesma forma, no gráfico 4.44, que compreende a faixa de frequências entre 7.000 e 12.000 Hz, situação similar pode ser observada: entre 8.500 e 9.500 Hz há um pico de aumento de energia espectral, bastante característico do uso dessa surdina de ébano, que é perfeitamente definido pela mediana dos dois instrumentos, embora na curva relativa ao vln1, o maior pico aconteça numa frequência um pouco mais baixa, em torno de 8.200 Hz, enquanto no vln2, o maior pico ocorre por volta dos 9.000 Hz.

Gráfico 4.44 – Diferença entre as medianas com o uso da surdina de ébano menor e a condição de controle dos dois violinos, com barra de erros de dispersão, e a diferença entre as medianas, na mesma condição de estudo, e a condição de controle de cada violino, com barra de erros de dispersão (7.000-12.000 Hz).



Esse tipo de resultado pode ser encarado como reflexo das características físico-acústicas específicas de cada instrumento que vão gerar respostas diferentes com a utilização das surdinas. Ou seja, além dos violinos já apresentarem características espectrais distintas, essas induzem a um efeito diferenciado pelo uso de uma mesma surdina. Importante observar, ainda, que a simples montagem do instrumento, desde os diferentes tipos de encordoamento disponíveis para uso até a escolha de um determinado cavalete (peça substituível, com tempo de vida limitado), cujas características físicas, que influenciam diretamente na ação das surdinas, podem variar significativamente (densidade e rigidez da madeira de que são feitos, corte, espessura e peso¹⁹⁵), podendo gerar uma resposta acústica bastante diferente até mesmo com o uso de uma mesma surdina no mesmo instrumento, se alterada sua montagem. Como o objetivo da presente análise é investigar as tendências de alteração gerais mais significativas, que se manifestariam de maneira mais pronunciada na maioria dos instrumentos, à parte suas particularidades, os dados relativos aos dois instrumentos são considerados de maior representatividade do efeito geral das surdinas.

Gráfico 4.45 – Médias de *Loudness* das 24 amostras de cada violino, por corda, e do instrumento.



Em relação à intensidade, como já mencionado, o vln1 apresentou uma intensidade um pouco maior do que o vln2, conforme a aferição feita por meio da *loudness*, representada no gráfico 4.45. O padrão de distribuição de intensidade entre as cordas, porém, mostrou-se bastante similar entre os dois instrumentos, com uma progressiva redução da *loudness* das

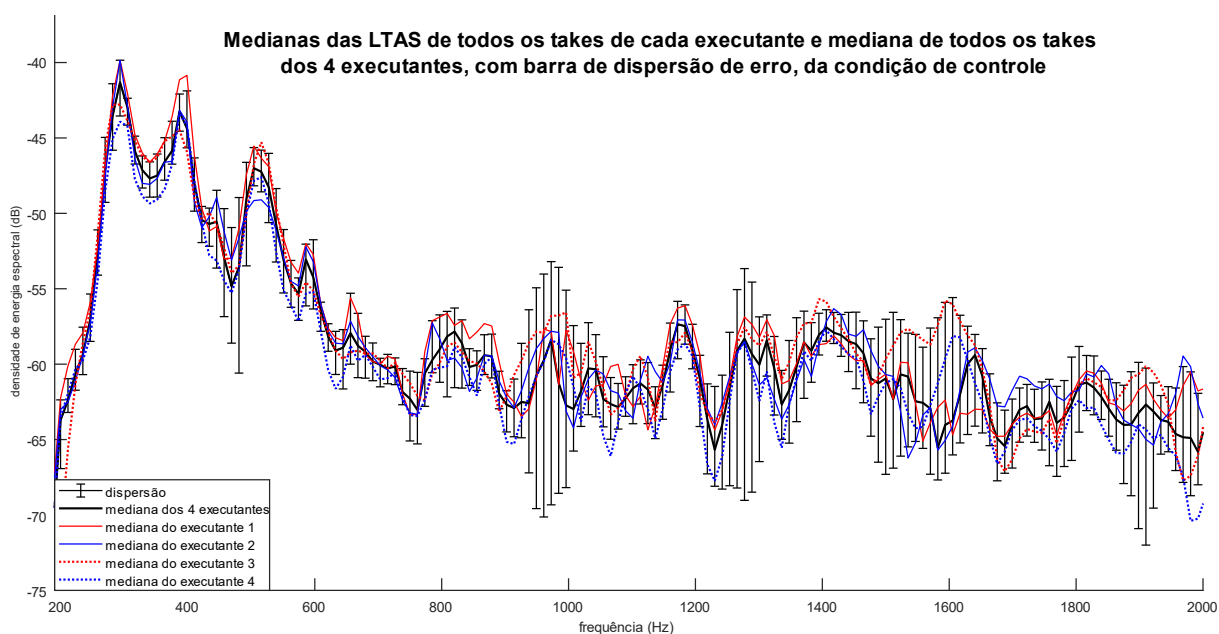
¹⁹⁵ Jürgen Meyer, em seu livro *Acoustics and the Performance of Music*, como já relatado na subseção 2.2.1 chama a atenção para esse fato, observando ser um fator determinante para os efeitos das surdinas as características físicas do cavalete (rigidez e massa do mesmo), que contribuiriam para explicar a variação de efeitos de um mesmo tipo de surdina entre instrumentos diferentes (MEYER, 2009, p. 93).

cordas graves para as agudas, com o vln1 sempre tendo a intensidade um pouco superior à do vln2. Esse padrão de intensidade foi observado, também, na média das intensidades dos outros cinco instrumentos analisados na pesquisa de mestrado (DA SILVA EVANGELISTA, 2019).

4.2.4 Comparação entre os executantes

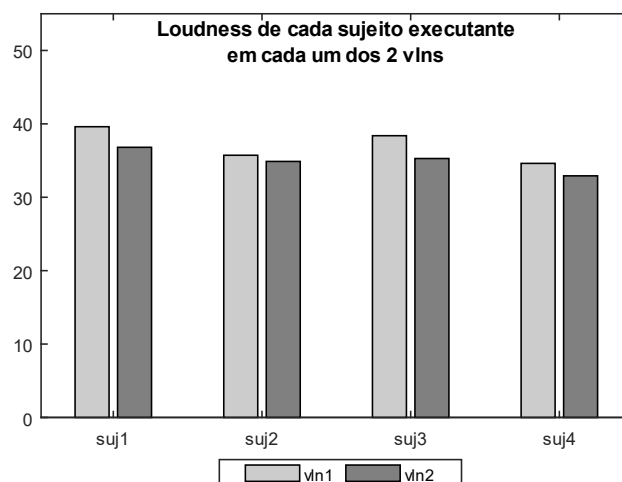
Em relação às performances de execução instrumental, a comparação entre os quatro diferentes executantes indica que a padronização visada pelo protocolo de execução instrumental e gravação atingiu bons resultados (já apontados pela análise dos glissandos), como pode ser observado no gráfico 4.46. Sobretudo no início do espectro, até por volta dos 1.000 Hz há uma grande proximidade entre as curvas que representam as medianas das LTAS das 12 amostras de controle registradas por cada um dos quatro instrumentistas com os dois violinos.

Gráfico 4.46 – Curvas das medianas das LTAS das 12 amostras registradas por cada executante nos dois violinos e mediana, com barra de erros de dispersão, das LTAS das 48 amostras registradas pelos 4 executantes com os dois violinos, para a condição de controle.



Em relação à *loudness*, a performance dos quatro executantes também é condizente com a média total dos dois instrumentos: todos registraram pequena diferença a mais na *loudness* do vln1. O vln2 apresentou uma variação um pouco menor entre os valores da *loudness* das médias de cada executante, como pode ser visto no gráfico 4.47.

Gráfico 4.47 – Médias de *Loudness* das 6 amostras de cada executante, nos 2 instrumentos.



4.3 Análise comparativa entre as 14 surdinas originais amostradas

Abaixo, no quadro comparativo 4.1, os percentuais de participação dos residuais não harmônicos, a *loudness* e a variação de intensidade das 14 condições de estudo que empregaram surdinas originais são listados, com os pesos das respectivas surdinas, além da *loudness* e percentual de participação do residual não harmônico da condição de controle:

Quadro comparativo 4.1 – Peso, percentuais de participação dos residuais não harmônicos, *loudness* e variação de intensidade das 14 surdinas originais amostradas e da condição de controle.

| surdinas | peso (gramas) | participação do residual não-harmônico (%) | <i>Loudness</i> (sones) | Redução de intensidade (%) |
|--|---------------|--|-------------------------|----------------------------|
| condição de controle | - | 0,71 | 36,18 | - |
| surdinas de performance fixadas ao cavalete | | | | |
| sdBor1 | 1,92 | 0,47 | 31,32 | 21,33 |
| sdBor2 | 1,85 | 0,68 | 30,73 | 23,78 |
| sdHfz | 2,56 | 0,44 | 30,22 | 25,87 |
| sdEbpq | 6,44 | 0,48 | 29,57 | 28,50 |
| sdEbgd | 8,38 | 0,73 | 26,34 | 40,99 |
| sdMd | 3,30 | 0,49 | 29,91 | 27,12 |
| surdinas de performance fixadas às cordas | | | | |
| sdCdTb | 1,48 | 0,46 | 31,99 | 18,50 |
| sdCdSp | 1,45 | 0,54 | 34,76 | 6,46 |
| sdCdAp | 3,72 | 0,50 | 30,86 | 23,25 |
| surdinas de estudo (abafadores) | | | | |
| abfBor1 | 7,60 | 0,49 | 29,80 | 27,55 |
| abfBor2 | 13,40 | 0,92 | 24,59 | 47,36 |
| abfMt0 | 15,55 | 0,92 | 24,06 | 49,21 |
| abfMt1 | 44,9 | 8,67 | 15,18 | 76,37 |
| abfMt2 | 58,65 | 13,72 | 14,42 | 78,32 |

Os dados das demais 17 condições de estudo, relativas às *Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas*, serão analisados na subseção seguinte, organizados de acordo com os estudos desenvolvidos.

Foi feita uma análise de correlação de Pearson entre as diferenças das curvas de LTAS com dados reduzidos em relação à condição de controle, de todas as 31 condições de estudo que utilizaram algum tipo de dispositivo em diferentes configurações, com $valor-p < 0,05$ (probabilidade de significância), e indicados, na tabela 4.33, os coeficientes de correlação (r) iguais ou superiores a 0,8, relacionando as condições de estudo que os atingiram. Essa análise será empregada nessa seção e também no restante do capítulo, nos resultados das *Prospecções*, como referência, em relação à LTAS, de menor ou maior similaridade entre os efeitos dos diferentes dispositivos e configurações de uso.

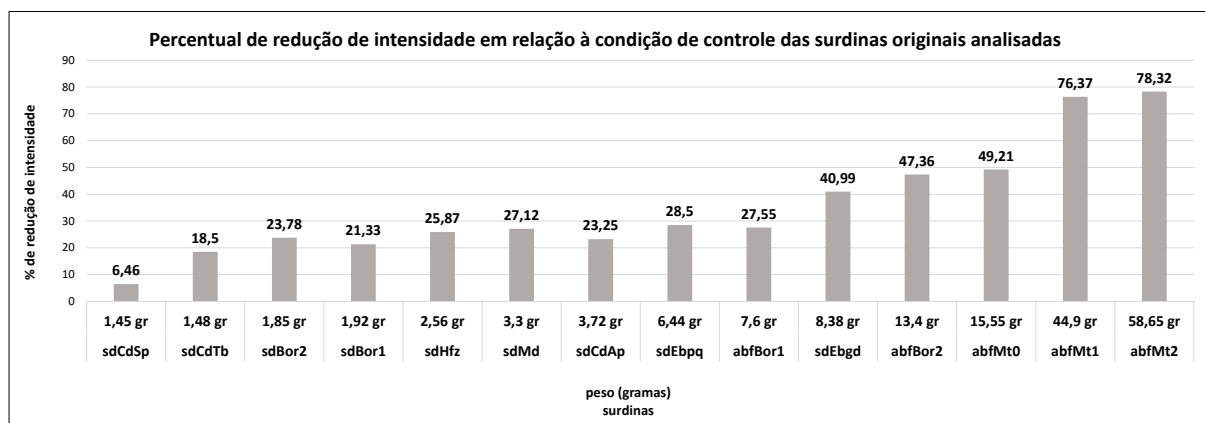
4.3.1 Observações gerais

Em relação à alteração na intensidade do som provocada pelo uso das surdinas, como pode ser verificado no gráfico 4.48 (onde as surdinas analisadas são agrupadas em ordem crescente de peso), observa-se que o peso, embora preponderante, não pode ser considerado o único aspecto físico determinante desse efeito, já que algumas surdinas mais leves provocaram redução de intensidade superior à de outros dispositivos mais pesados: a surdina de borracha com um furo e um dente provocou uma redução de intensidade menor do que a surdina de borracha com dois furos e um dente, mais leve do que ela; a surdina Alpine reduziu a intensidade média menos do que as surdinas de madeira leve, Heifetz e de borracha com um furo e um dente, mais leves do que ela; o abafador preto de borracha reduziu a intensidade menos do que a surdina de ébano menor, mais leve do que ele. A interação dos fatores peso, material de construção e acoplamento com o cavalete parece ter grande influência nesse aspecto, considerando-se as características físicas dos dispositivos citados. A surdina Heifetz, por exemplo, embora tenha quase um terço a menos de peso do que a Alpine, caracteriza-se por um acoplamento diferenciado com o cavalete, ao aplicar grande força no topo do mesmo, já que é constituída por um grampo de metal revestido de borracha que gera o encaixe mais justo com a peça dentre todos os dispositivos analisados, a ponto de prejudicar sua utilização ao dificultar sua colocação em posição de uso. Já a Alpine, sendo uma das surdinas fixadas às cordas, não tem a massa adicionada diretamente sobre o cavalete, exercendo uma pressão bem menor na peça, ainda que tenha uma área de contato com o mesmo relativamente grande. Da mesma forma, o abafador preto de borracha apresenta uma área de contato com o cavalete muito

Tabela 4.33: Correlação de Pearson (*valor-p* < 0,05) entre as diferenças das curvas de LTAS com dados reduzidos em relação à condição de controle, de todas as 31 condições de estudo que utilizaram algum tipo de dispositivo em diferentes configurações.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|------------------|------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|--------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---|---------------|--------|
| | sdBor1 | sdBor2 | sdHfz | sdEbpq | sdEbgd | sdMd | sdCdTb | sdCdSp | sdCdAp | abfBor1 | abfBor2 | abfMt0 | abfMt1 | abfMt2 | repChb sdEbpq | repEpxs dEbpq | repChb abfMt2 | sdEb1dGD | sdEb1dDA | sdEb1dAE | sdEb2dpG | sdEb2dpE | sdEb2ds | sdEb/Epx | sdEb/Chb | sdHfzP | abfMt0P | sdEbSegG DDA | sdEbSegG DAE | sdEbSegD AAE | sdEbSegG DDAAE | | | |
| sdBor1 | 1 | - | 0,94 | 0,84 | - | 0,91 | - | - | 0,86 | 0,87 | - | - | - | - | - | 0,82 | - | - | - | - | 0,80 | - | 0,86 | 0,85 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdBor1 | |
| sdBor2 | - | 1 | - | - | - | 0,83 | 0,94 | - | 0,93 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdBor2 | |
| sdHfz | - | - | 1 | - | - | 0,87 | - | - | 0,89 | 0,82 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,81 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdHfz | |
| sdEbpq | - | - | - | 1 | 0,96 | 0,92 | - | - | - | 0,92 | - | 0,93 | - | - | - | 0,89 | - | - | - | - | - | 0,82 | 0,94 | 0,97 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEbpq | |
| sdEbgd | - | - | - | - | 1 | 0,84 | - | - | - | 0,88 | 0,85 | 0,92 | - | - | - | 0,88 | - | - | - | - | - | - | 0,88 | 0,93 | - | - | 0,83 | - | - | - | - | - | sdEbgd | |
| sdMd | - | - | - | - | - | 1 | 0,80 | - | 0,90 | 0,88 | - | 0,87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,87 | 0,95 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdMd | |
| sdCdTb | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 0,88 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdCdTb | |
| sdCdSp | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdCdSp | |
| sdCdAp | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,81 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdCdAp |
| abfBor1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 0,86 | - | - | - | - | 0,91 | - | - | - | - | 0,84 | 0,88 | 0,88 | 0,89 | - | - | 0,81 | - | - | - | - | - | abfBor1 | |
| abfBor2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,87 | - | - | - | - | 0,84 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,89 | - | - | - | - | - | abfBor2 | |
| abfMt0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 0,86 | - | - | - | - | - | - | 0,89 | 0,94 | - | - | 0,80 | - | - | - | - | - | abfMt0 | |
| abfMt1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,94 | 0,93 | - | 0,90 | - | - | - | - | - | - | - | 0,88 | - | - | - | - | - | - | - | - | abfMt1 | |
| abfMt2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,97 | - | 0,92 | - | - | - | - | - | - | - | 0,93 | - | - | - | - | - | - | - | - | abfMt2 | |
| repChbsdEbpq | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,92 | - | - | - | - | - | - | - | - | repChbsdEbpq | |
| repEpxsdEbpq | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 0,90 | 0,90 | 0,91 | 0,86 | - | - | 0,91 | - | - | - | - | - | repEpxsdEbpq | |
| repChbabfMt2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 0,89 | - | - | - | - | - | - | - | - | repChbabfMt2 | |
| sdEb1dGD | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,96 | 0,91 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEb1dGD | |
| sdEb1dDA | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,92 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEb1dDA | |
| sdEb1dAE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEb1dAE | |
| sdEb2dpG | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,96 | 0,82 | - | - | 0,82 | - | - | - | - | - | - | sdEb2dpG | |
| sdEb2dpE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,82 | - | - | 0,81 | - | - | - | - | - | - | sdEb2dpE | |
| sdEb2ds | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,91 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEb2ds | |
| sdEb/Epx | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | sdEb/Epx | |
| sdEb/Chb | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | sdEb/Chb | |
| sdHfzP | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | sdHfzP |
| abfMt0P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | abfMt0P | |
| sdEbSegGDDA | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,90 | 0,88 | 0,90 | - | sdEbSegGDDA | |
| sdEbSegGDAE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,90 | 0,96 | - | sdEbSegGDAE | |
| sdEbSegDAAE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,94 | - | sdEbSegDAAE | |
| sdEbSegGDDAAE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | sdEbSegGDDAAE | |

Gráfico 4.48 – Relação das surdinas originais analisadas organizadas por ordem crescente de peso com os respectivos percentuais de redução de intensidade em relação à condição de controle.



superior à da surdina de ébano menor, cobrindo completamente o mesmo, sendo, porém, feito com um material muito mais macio do que o ébano, de grande rigidez e densidade. Esse tipo de resultado é considerado de particular relevância ao acrescentar novos elementos à discussão que relaciona somente o peso à atenuação provocada pelas surdinas, sendo esse fator praticamente o único citado em toda a literatura revisada, não sendo considerados, quase sempre, nem o material de confecção dos dispositivos e nem as características de acoplamento com o cavalete, como fatores influenciadores das propriedades de atenuação de uma surdina.

Todas as surdinas de performance, com exceção da surdina de ébano maior¹⁹⁶ reduziram a intensidade média do instrumento em menos de 30% e apenas os dois abafadores de metal pesados (abfMt1 e abfMt2) reduziram em mais de 50%. Outro aspecto bastante relevante é a variação do efeito dos dispositivos em cada corda do instrumento. Embora haja sobreposição de frequências entre as cordas (subseção 3.4.1) os dados referentes a essa análise, relacionam-se, logicamente, aos diferentes registros do instrumento, além de poderem estar ligados ao tipo de acoplamento das diferentes surdinas com o cavalete. Em todas as surdinas de performance, com exceção das duas surdinas de ébano, e nos dois abafadores de borracha e também no abafador de metal leve, a corda a sofrer maior redução de intensidade foi a segunda (Lá); na surdina de ébano menor a perda de intensidade nas cordas Lá e Mi foi a mesma e na maior a Mi registrou um percentual de redução um pouco maior. Já a corda a sofrer menor redução, dentre as 14 surdinas

¹⁹⁶ Importante observar que essa surdina, embora um dispositivo original não alterado, em princípio, é destinada ao uso em violas, portanto, teria o peso adequado a esse instrumento de maior porte do que o violino. Foi amostrada aqui como dispositivo original (e também utilizada nas *Prospecções no Estudo um*) por haver, na verdade, bem pouca padronização no peso desses dispositivos, tendo sido localizadas surdinas desse tipo, direcionadas para uso em violino, com o peso próximo ao desta de viola, bem como outras razoavelmente mais leves, sendo, portanto, considerada uma variante dessa categoria tradicional de surdinas de ébano. As diferenças de efeito produzidas pelos dois dispositivos de pesos diferentes serão analisadas e comentadas posteriormente.

originais, com exceção do abafador vermelho de borracha e dos dois abafadores de metal pesado, foi a quarta (Sol), além da surdina Spector, que chegou a provocar ligeiro aumento de intensidade nessa corda¹⁹⁷. A consistência das duas tendências é um dado relevante, considerando-se que a desigualdade do efeito produzido entre as cordas do instrumento pelas diferentes surdinas é importante para a avaliação do desempenho dos dispositivos. Ainda nesse sentido, pode ser considerada uma tendência geral que as surdinas mais pesadas, os abafadores de metal, apresentem uma maior igualdade de efeito entre as cordas, em comparação com os dispositivos mais leves, onde há grande variedade do efeito de atenuação entre as quatro cordas (vide gráficos 4.3e a 4.16e).

Pode ser considerado significativo, também, o fato das três surdinas fixadas às cordas figurarem dentre as menores reduções de intensidade média (gráfico 4.48), dentre todos os dispositivos analisados (Spector menor redução, tubular Sihon segunda menor redução e Alpine quarta menor redução). Embora as duas primeiras citadas sejam, também, os dispositivos mais leves analisados, parece haver certa desproporção entre o efeito que provocam e o efeito gerado por outros dispositivos de peso próximo, tendo sido os únicos dispositivos que geraram um percentual de atenuação inferior a 20% em relação à condição de controle. Sobretudo com a Spector, a atenuação que esse dispositivo produziu é muito inferior à provocada pela Sihon, que possui praticamente o mesmo peso (diferença de 0,03 gramas). Além disso, como já observado, a Alpine teve um desempenho de atenuação inferior ao de três outros dispositivos mais leves. O fato dessas surdinas não acrescentarem massa diretamente sobre o cavalete, apenas tocando-o e comprimindo sua parte superior por meio de seus mecanismos de encaixe, pode ser relacionado a esse efeito, sendo relevante o fato de, ainda assim, provocarem alterações bastante significativas nas curvas de LTAS (gráficos 4.9a-d, 4.10a-d e 4.11a-d).

Quanto aos percentuais de residual não-harmônico, discriminados no quadro comparativo 4.2, por corda e da média do instrumento, todas as surdinas de performance, com exceção da surdina de ébano maior (sdEbgd), que apresentou um valor ligeiramente superior (0,73% contra 0,71%), apresentaram índices menores do que a condição de controle, em relação às médias de todo o instrumento, além do abafador preto de borracha, que também reduziu esse percentual. Esse dado pode ser relacionado a uma das percepções da sonoridade do violino sob efeito de surdinas mais típica, que descreve a mesma como mais “suave”, “aveludada” ou “doce” do que sem o uso

¹⁹⁷ Efeito de aumento de intensidade média em notas específicas e médias de notas já havia sido observado na amostragem cromática realizada para o mestrado com o uso de uma surdina de ébano semelhante à sdEbpq, utilizada na presente pesquisa, afetando principalmente o Dó#3, vide quadros 5 e 7 da dissertação de mestrado (DA SILVA EVANGELISTA, 2019, p. 133 e 134).

de nenhum tipo de surdina, e pode ser relacionado, principalmente, à percepção do raspado típico da crina do arco nas cordas.

Quadro comparativo 4.2 – Percentual de participação do residual não-harmônico das 14 surdinas originais amostradas e da condição de controle por corda e do instrumento.

| participação do residual não-harmônico (%) | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|-------------|
| | cordas | | | | |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | instrumento |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| surdinas de performance fixadas ao cavalete | | | | | |
| sdBor1 | 0,62 | 0,34 | 5,09 | 4,90 | 0,47 |
| sdBor2 | 0,45 | 0,83 | 2,36 | 4,26 | 0,68 |
| sdHfz | 0,38 | 0,35 | 3,11 | 4,45 | 0,44 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEbgd | 0,43 | 0,56 | 9,95 | 8,86 | 0,73 |
| sdMd | 0,34 | 0,36 | 4,74 | 3,62 | 0,49 |
| surdinas de performance fixadas às cordas | | | | | |
| sdCdTb | 0,49 | 0,45 | 1,83 | 5,28 | 0,46 |
| sdCdSp | 0,30 | 0,46 | 4,05 | 5,45 | 0,54 |
| sdCdAp | 0,37 | 0,42 | 3,48 | 3,92 | 0,50 |
| surdinas de estudo (abafadores) | | | | | |
| abfBor1 | 0,34 | 0,35 | 8,14 | 6,64 | 0,49 |
| abfBor2 | 0,57 | 0,63 | 17,87 | 9,09 | 0,92 |
| abfMt0 | 0,68 | 0,56 | 11,42 | 13,20 | 0,92 |
| abfMt1 | 5,99 | 9,86 | 13,35 | 14,14 | 8,67 |
| abfMt2 | 8,10 | 20,48 | 19,51 | 21,30 | 13,72 |

Já no caso dos dois abafadores de metal pesado (abfMt1 e abfMt2), o valor foi muito superior à condição de controle (8,67% e 13,72% respectivamente). Da mesma forma, em todas as 14 condições de estudo analisadas aqui, com exceção desses dois abafadores de metal pesado (abfMt1 e abfMt2), os percentuais de participação do residual não harmônico das cordas agudas foram muito superiores aos das cordas graves (como já ocorria, em menor proporção, na condição de controle¹⁹⁸). Na corda Mi, com exceção da surdina de madeira leve (sdMd) e da Alpine (sdCdAp) todos os dispositivos geraram percentuais de participação maiores do que a condição de controle e na Lá apenas a surdina tubular Sihon (sdCdTb) apresentou valor menor do que a

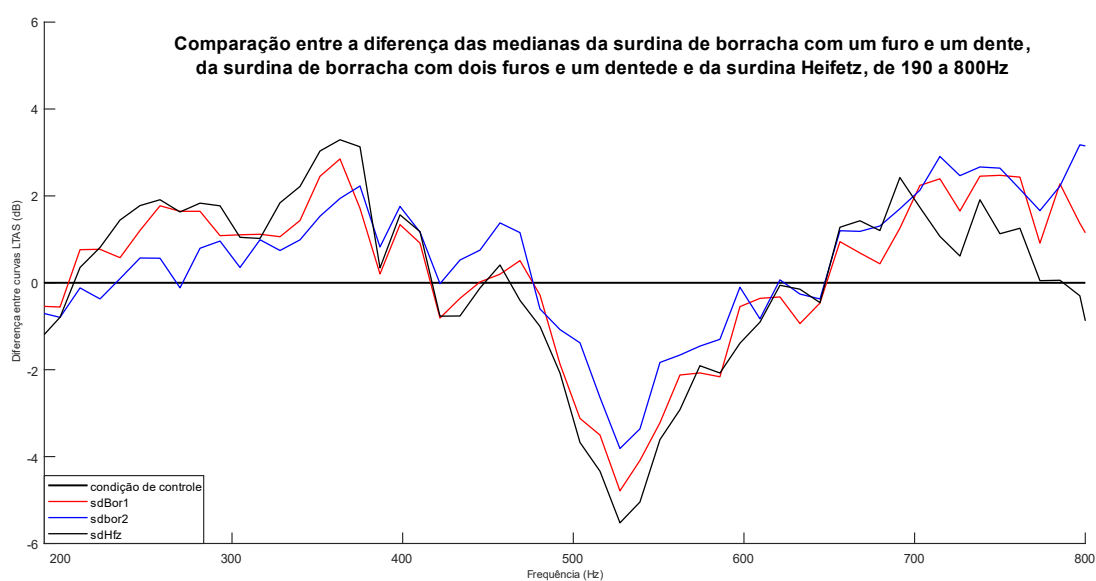
¹⁹⁸ Em geral, há uma grande desproporção entre o percentual de participação do residual não harmônico registrado para as cordas agudas (Lá e Mi) e para a média do instrumento, como pode ser observado na própria condição de controle (das cordas graves para as agudas 0,68%, 0,46%, 1,98% e 4,02% contra 0,71% para a média de todo o instrumento). Esse resultado pode ser atribuído ao fato das cordas graves (Sol e Ré) geralmente apresentarem (respectivamente), as maiores intensidades dentre as quatro cordas (vide fim da seção 4.2.1), ao mesmo tempo em que apresentam os menores percentuais de participação de residual não harmônico, sendo muito menos evidente na sonoridade dessas cordas o ruído típico de raspado, produzido pela fricção da crina do arco nas cordas, do que nas cordas Lá e Mi, sobretudo em seus registros mais altos, levando assim à redução significativa dos percentuais de participação do residual não harmônico observada na média do instrumento.

condição de controle. Esses resultados podem ser considerados complexos. Se por um lado é possível relacionar o grande aumento desse percentual, no caso dos dispositivos pesados, à maior perda de intensidade que os mesmos geram, considerando que essa atenuação atinge sobretudo a porção harmônica do áudio, majoritária, gerando uma nova proporção entre os componentes determinísticos e estocásticos (interpretação que faz sentido também em relação às variações por cordas, já que a atenuação produzida pelas surdinas nas cordas agudas é também, em média, maior do que nas graves), por outro lado, o efeito observado com o uso dos demais dispositivos não se justificaria apenas por esse fator. Ao que tudo indica, o material de construção e a forma de acoplamento com o cavalete interagem, junto ao peso, na definição dos índices de residual não-harmônico. O caso do abafador preto de borracha (abfBor1) é bastante ilustrativo nesse sentido: embora seja mais pesado do que todas as surdinas de performance, com exceção da de ébano maior (sdEbgd), apresentou um dos menores índices de percentual de participação do residual não harmônico (0,49%), consideravelmente inferior ao da condição de controle, sendo relevante observar que seu acoplamento com o cavalete cobre toda a superfície do mesmo com sua estrutura de borracha de cinco dentes (Fig. 3.13). Seja por propriedades de amortecimento da borracha, seja por alterar o acoplamento acústico das cordas com o topo do cavalete ao cobri-lo completamente, esse dispositivo reduz sensivelmente o componente não harmônico, contribuindo assim, de maneira direta, para o efeito de “suavização” da sonoridade do instrumento, típico do uso de surdinas, como já comentado anteriormente. Mesmo o abafador vermelho de borracha, que tem quase o dobro do peso do preto, embora tenha elevado o percentual para 0,92% contra os 0,71% da condição de controle, mostra em verdade um efeito bastante modesto nesse quesito, enquanto a atenuação em relação à condição de controle é bem mais significativa do que a produzida pelo abafador preto (47,36%, enquanto o abafador preto reduziu a intensidade em apenas 27,55%). Já o abafador de metal leve (abfMt0) que tem peso próximo ao abafador vermelho de borracha (abfBor2), 15,55 e 13,40 gramas respectivamente, registrou o mesmo valor de 0,92% de participação do residual não harmônico que o abafador vermelho. À parte a diferença de material entre os dois dispositivos, a área de contato com o cavalete é muito diferente: os três dentes desse abafador de metal (abfMt0) exercem pressão moderada contra o cavalete, cobrindo-o com toda a extensão dos mesmos (quando totalmente inserido), embora sejam relativamente finos (Fig. 3.15), ao passo que o abafador vermelho, feito de borracha um pouco mais rígida do que a do abafador preto, tem contato com uma extensão muito maior do cavalete, em toda sua parte superior e também pelo contato de seus cinco dentes (Fig. 3.14). O fato desses dois dispositivos terem gerado um percentual de participação do residual não harmônico igual é um forte indicativo da natureza

interativa das diferentes propriedades físicas das surdinas no efeito que produzem sobre a sonoridade do instrumento.

4.3.2 *Análise comparativa entre as duas surdinas de borracha (sdBor1 e sdBor2) e a Heifetz (sdHfz)*

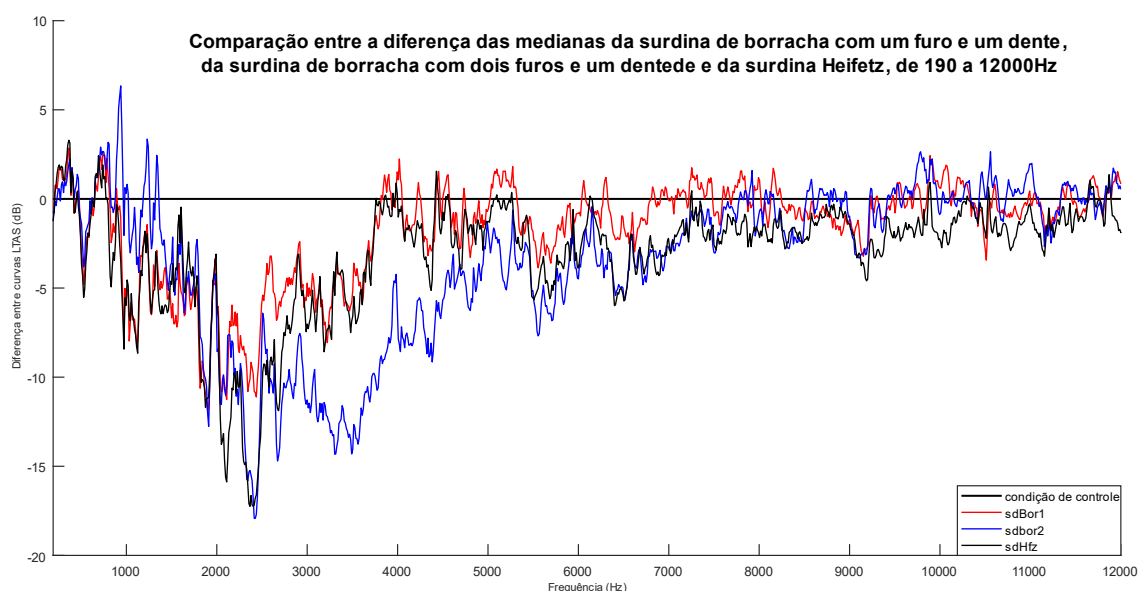
Gráfico 4.49 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.



No gráfico 4.49, são comparadas as diferenças das medianas das LTAS das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente (sdBor1 e sdBor2) e da Heifetz (sdHfz), em relação à condição de controle, na região grave do espectro. Esses três dispositivos têm em comum a característica de possuir apenas um dente, embora o da Heifetz seja maior e exerça grande pressão sobre o topo do cavalete, ao contrário das outras duas, feitas de borracha macia. Observa-se que nessa faixa de frequências esses três dispositivos apresentaram grande similaridade de efeito, sobretudo as surdinas de borracha com um furo e a Heifetz, enquanto a surdina de borracha com dois furos diferenciou-se na faixa abaixo dos 300 Hz, gerando menos transferência de energia do que as outras duas, e, também, por volta dos 370/380 Hz, onde a Heifetz apresentou o maior ganho de energia em relação à condição de controle. Nesse ponto específico, observa-se uma pequena progressão de efeito entre os três dispositivos proporcional ao peso: Heifetz (2,56 gramas), maior peso, gerou o maior pico; surdina de borracha com um furo (1,92 gramas), segundo maior peso, segundo maior ganho; e surdina de borracha com dois furos (1,85 gramas), menor peso, menor ganho. Os três dispositivos geraram um ponto de grande perda de energia entre 500 e 600 Hz, e novamente ganho, de maneira diferenciada, a partir dos 650 Hz.

A surdina de borracha com um furo não apresentou coeficiente de correlação de pelo menos 0,8 com nenhuma das outras duas¹⁹⁹; já a de borracha com um furo e a Heifetz apresentaram um alto coeficiente de correlação entre si, de 0,94, o que é particularmente evidenciado pela similaridade das curvas relativas às medianas desses dois dispositivos na região do *bridge hill* (por volta dos 3.000 Hz), como pode ser observado no gráfico 4.50. Dessa mesma região para a frente (até aproximadamente 5.000 Hz), a outra surdina (sdBor2) gerou uma perda de energia significativamente maior. Desse ponto em diante, essa surdina ora aproxima-se da curva da Heifetz, ora da surdina de borracha com um furo.

Gráfico 4.50 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz.

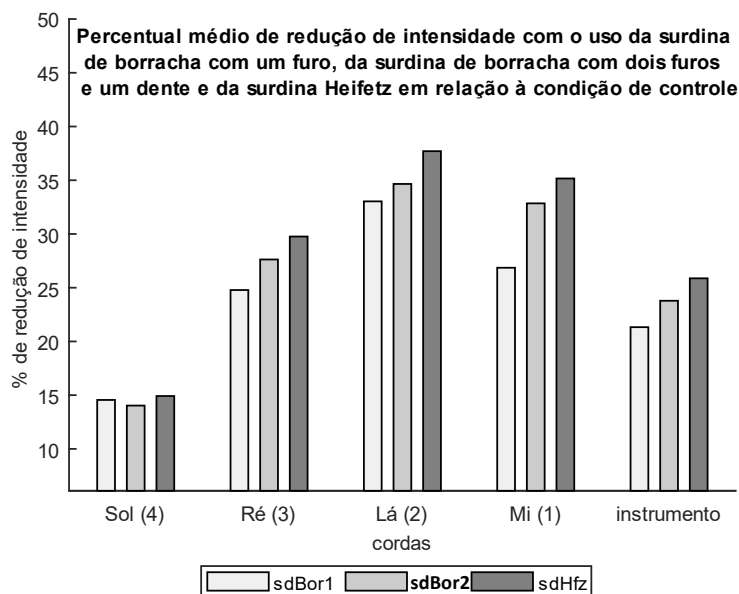


Em relação à atenuação, como discriminado no gráfico 4.51, os três dispositivos geraram um efeito progressivo, com sdBor1 produzindo a menor redução de intensidade, seguida por sdBor2 e, por fim, a Heifetz, com a maior redução em relação à condição de controle. Como já observado anteriormente, se destaca o fato da surdina de borracha com dois furos, pouco mais leve do que a com um furo, ter provocado maior atenuação do que esta última, sendo interessante observar que a surdina com dois furos, circular, possui maior área de contato com o cavalete do que a outra com um furo, apesar dessa apresentar um topo maior do que a primeira, que se projeta acima do cavalete, podendo essas características de acoplamento estarem relacionadas a esse efeito (Figs 3.2 e 3.3). Em relação à atenuação por corda, as três surdinas tiveram o mesmo desempenho,

¹⁹⁹ Essa surdina apresentou coeficiente de correlação superior a 0,8 com as surdinas sdMd, sdCdTb e sdCdAp, respectivamente, 0,83, 0,94 e 0,93.

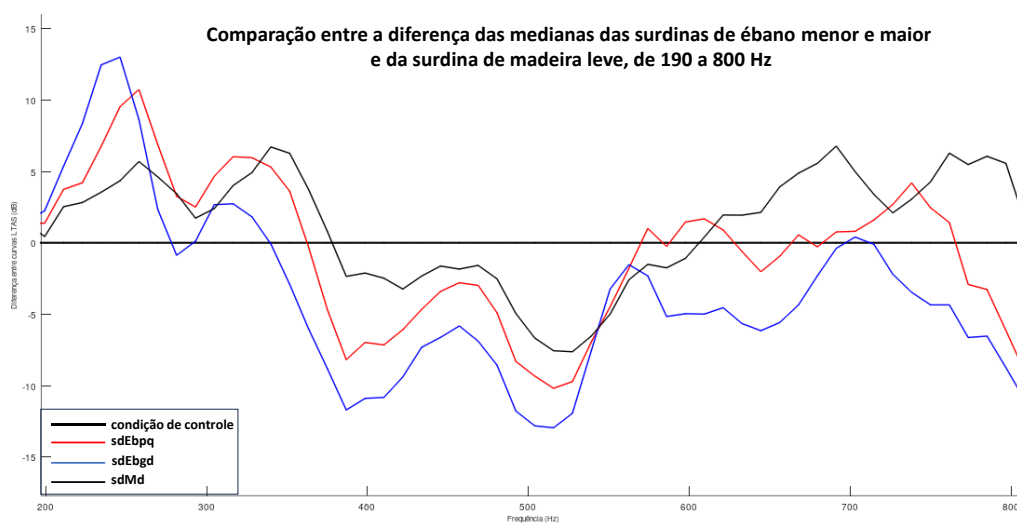
com maior atenuação na corda Lá, seguida pela Mi, depois Ré, e menor redução de intensidade na corda Sol.

Gráfico 4.51 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas de borracha com um e dois furos e um dente e da Heifetz.



4.3.3 Análise comparativa entre as três surdinas de madeira (*sdEbpq*, *sdEbgd* e *sdMd*)

Gráfico 4.52 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

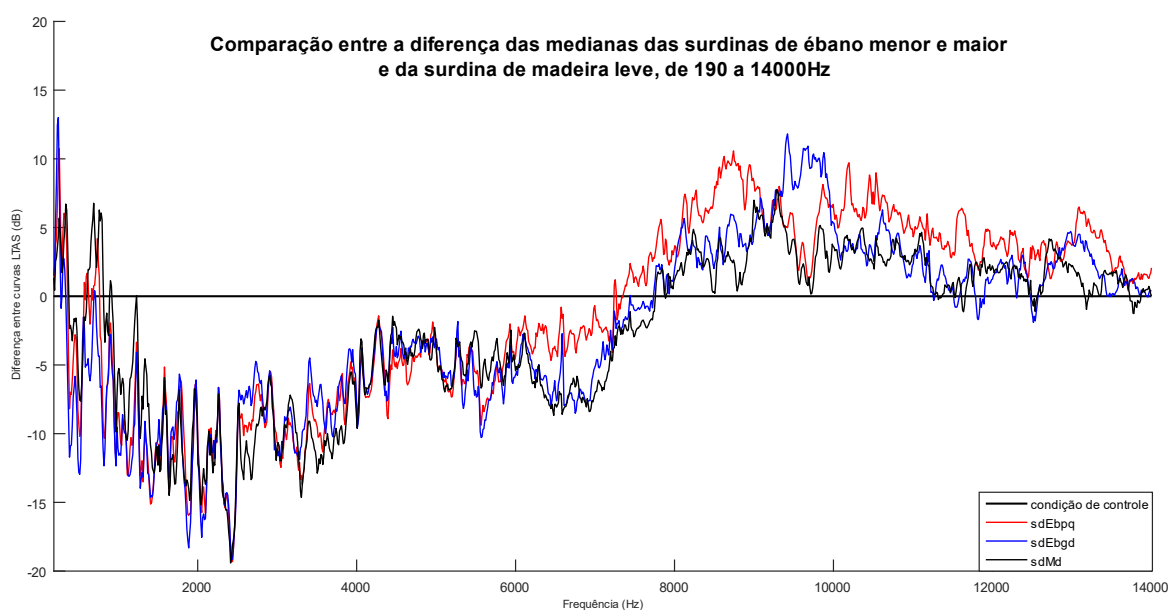


Os três dispositivos de madeira analisados na pesquisa apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,8 entre si: a surdina de ébano menor apresentou 0,96 em relação à de ébano

maior (segundo maior coeficiente de correlação entre as curvas de dados reduzidos de LTAS) e 0,92 em relação à de madeira leve, e esta última 0,82 em relação à de ébano maior (tabela 4.33), o que explica tendências de variação comum entre as medianas das LTAS das três surdinas, à parte as especificidades de cada uma²⁰⁰.

A observação do gráfico 4.52 permite relacionar, também, o efeito dos dispositivos no extremo grave ao peso, tanto em relação à faixa de atuação, quanto ao ganho que produzem em relação à condição de controle: considerando-as por ordem crescente de peso (sdEbgd > sdEbpq > sdMd) as surdinas atuaram, respectivamente, com mais intensidade, de acordo com seu peso, deslocando a região de pico do extremo grave para o agudo à medida que ficam mais leves (190 a 290 Hz). Da mesma forma, entre os 300 e os 380 Hz, os três dispositivos geraram um segundo pico de ganho, só que na proporção inversa: o mais leve gerou maior ganho ao fim dessa faixa, enquanto os mais pesados produziram efeito um pouco mais discreto no começo da mesma²⁰¹. Entre os 400 e os 560 Hz todas as três curvas indicam perda significativa de energia espectral.

Gráfico 4.53 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz.

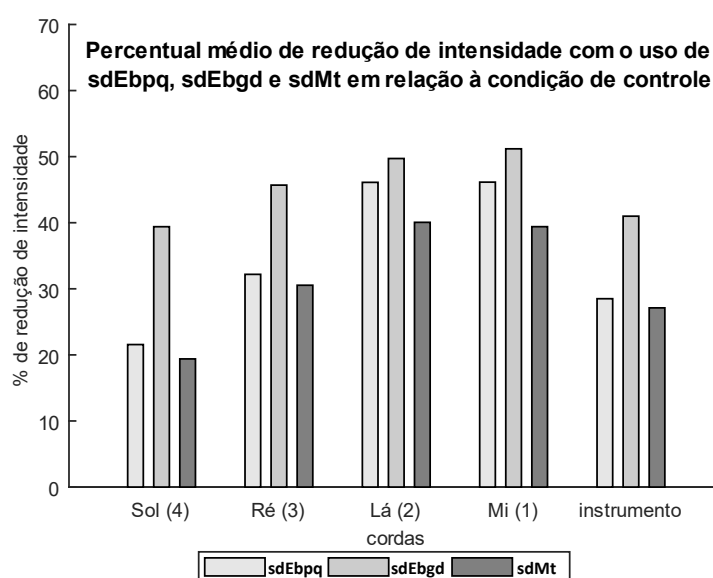


²⁰⁰ A surdina de ébano menor alcançou, também, índice de 0,84 com sdbor1, 0,92 com abfBor1 e 0,93 com abfMt0; a surdina de ébano maior alcançou, também, índice de 0,88 com abfBor1, 0,85 com abfBor2 e 0,92 com abfMt0; e a surdina de madeira leve alcançou, também, índice de 0,91 com sdBor1, 0,83 com sdBor2, 0,87 com sdHfz, 0,80 com sdCdTb, 0,90 com sdCdAp, 0,88 com abfBor1 e 0,87 com abfMt0, tendo sido a surdina original que atingiu o maior número de correlações com coeficiente acima de 0,8.

²⁰¹ Essa relação do peso com o ganho de energia no início do espectro, ou seja, o deslocamento de energia espectral para frequências mais baixas será melhor desenvolvida na primeira variação do *Estudo um das Prospecções*, por comparar, justamente, dispositivos similares em tudo a não ser quanto ao peso, no caso, as duas surdinas de ébano.

No gráfico 4.53, chama a atenção a grande similaridade de atuação dos três dispositivos na zona do *bridge hill* e em seu entorno, o que pode estar relacionado à natureza do acoplamento com o cavalete, que é bastante próximo nos três dispositivos, não obstante a grande variação de peso (a surdina de ébano menor possui quase o dobro do peso da de madeira leve). Pode ser observado, também, um característico efeito de ganho gerado pelas surdinas de ébano, entre os 7.500 Hz e os 12.000 Hz, que é acompanhado de forma moderada pela surdina de madeira leve, entre os maiores picos gerados pelas outras duas, que acontecem em faixas distintas (sdEbpq pouco antes dos 9 kHz e sdEbgd pouco antes dos 10 kHz). Essa característica, observada desde o começo da presente pesquisa acerca das surdinas para violino com dispositivos de ébano, parece estar ligada a efeitos de ressonância relacionados às propriedades acústicas da madeira e formato desses dispositivos, que podem influenciar na forte alteração que provocam na sonoridade do instrumento, geralmente descrita como de caráter “nasalado”, além de, eventualmente, também contribuírem para um também característico efeito de aumento de intensidade em relação à condição de controle em notas específicas do grave do violino (vide nota 197), geralmente observado entre o Sib2 e o Dó#3, inclusive, pelos executantes²⁰².

Gráfico 4.54 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas de ébano menor e maior e da surdina de madeira leve.



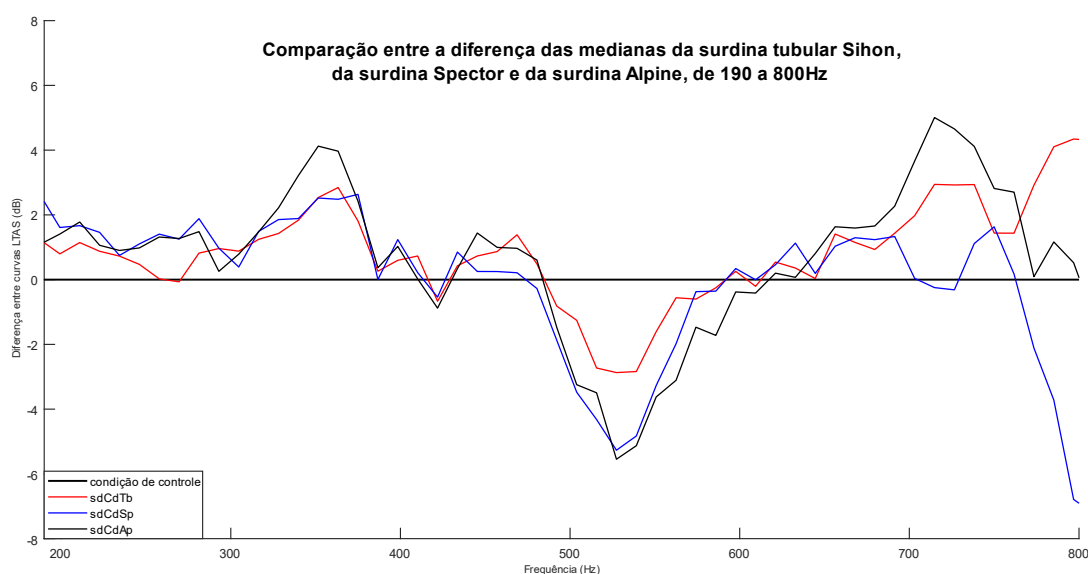
Em relação à atenuação (gráfico 4.54), a observação mais relevante é da grande proximidade do efeito de atenuação produzido pelas surdinas de ébano pequena e de madeira leve,

²⁰² Mais de um dos executantes que participaram da amostragem comentaram que essas surdinas de ébano produziam, nessas notas do começo da corda Sol, “quase um efeito de lobo”.

não obstante a já mencionada grande diferença de peso entre os dois dispositivos. Essas duas surdinas também apresentaram uma grande diferença entre a atenuação produzida na corda Sol e a provocada nas cordas Lá e Mi (praticamente o dobro), enquanto que a surdina de ébano maior teve um efeito mais equilibrado entre as cordas. Essa surdina, em princípio destinada ao uso em viola, como já observado, teve um efeito no violino, nas presentes condições de amostragem, que a aproximou mais do efeito dos abafadores específicos para violino: percentual médio de redução da intensidade em relação à condição de controle superior a 40% (todos os demais dispositivos para performance ficaram abaixo dos 30%) e maior equilíbrio desse efeito entre as quatro cordas do instrumento.

4.3.4 Análise comparativa entre as três surdinas fixadas às cordas (*sdCdTb*, *sdCdSp* e *sdCdAp*)

Gráfico 4.55 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas tubular Sihon, da Spector e da Alpine em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.



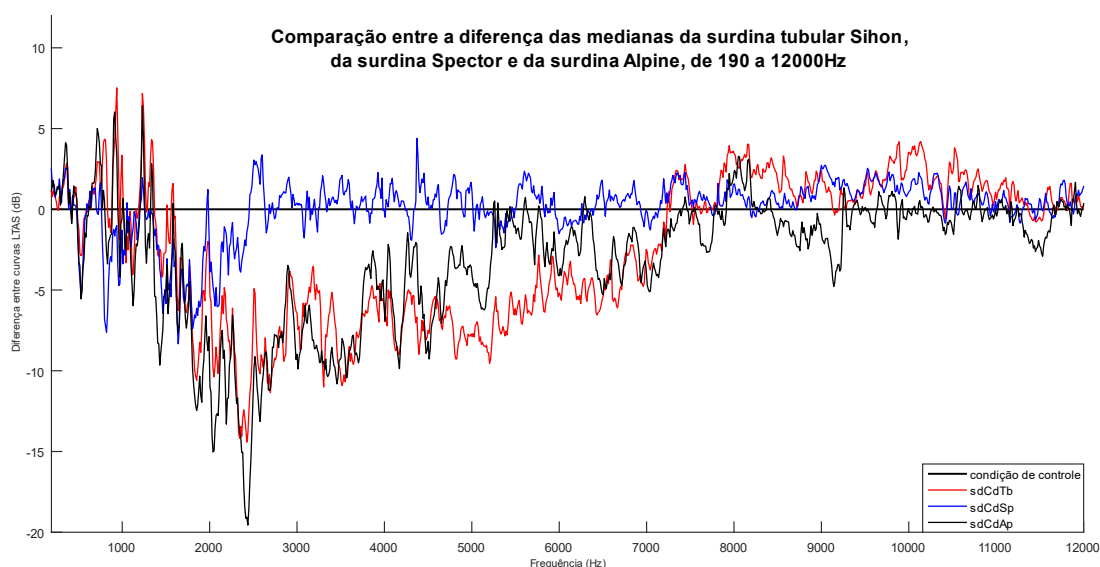
Dentre as três surdinas fixadas às cordas analisadas na pesquisa, somente a tubular Sihon apresentou coeficiente de correlação com uma das outras duas, de 0,88 com a Alpine, o que indica efeitos mais distintos produzidos pelos três dispositivos²⁰³. Entre 300 e 400 Hz os três dispositivos geraram ganho de energia em relação à condição de controle, com destaque para a surdina Alpine, que produziu maior efeito nesse ponto, novamente sugerindo relação direta com o peso, tendo ela mais que o dobro do peso das outras duas, que pesam praticamente a mesma coisa. Os três

²⁰³ A tubular Sihon alcançou, também, índice de 0,94 com *sdBor2* e 0,8 com *sdMd*, e a Alpine 0,86 com *sdBor1*, 0,93 com *sdBor2*, 0,89 com *sdHz* e 0,90 com *sdMd*. A Spector foi a única surdina original que não atingiu coeficiente de correlação de pelo menos 0,8 com nenhuma outra surdina amostrada.

dispositivos também produziram um trecho de perda significativa de energia entre os 490 e 600 Hz (gráfico 4.55).

Na região do *bridge hill* (gráfico 4.56) a surdina Spector destacou-se das outras duas que apresentaram um comportamento bastante próximo. A Spector, porém, não produziu o mesmo efeito. Pode-se dizer que foi o dispositivo que menos reduziu a energia espectral nessa faixa, provocando perda mais significativa apenas dos 2.500 Hz para baixo. Embora os três dispositivos tenham um mecanismo de ação comum, pressionando, por meio do encaixe às cordas, uma aba estreita sobre o topo do cavalete (no caso da tubular, a superfície cilíndrica de sua extremidade), a da Spector em particular é muito estreita, restringindo-se ao espaço entre duas cordas, enquanto que nas outras duas, tanto na tubular Sihon quanto na Alpine, esse contato atinge uma porção mais larga do topo do cavalete, em relação a seu comprimento. O efeito discreto da Spector, tanto em relação à baixa atenuação que provoca, quanto à falta de correlação com os outros dispositivos, pode estar relacionado diretamente a essa característica, dada a importância conhecida do *bridge hill* na composição do som do instrumento, ou seja, ao afetar pouco essa região espectral, o efeito geral do dispositivo é mais restrito.

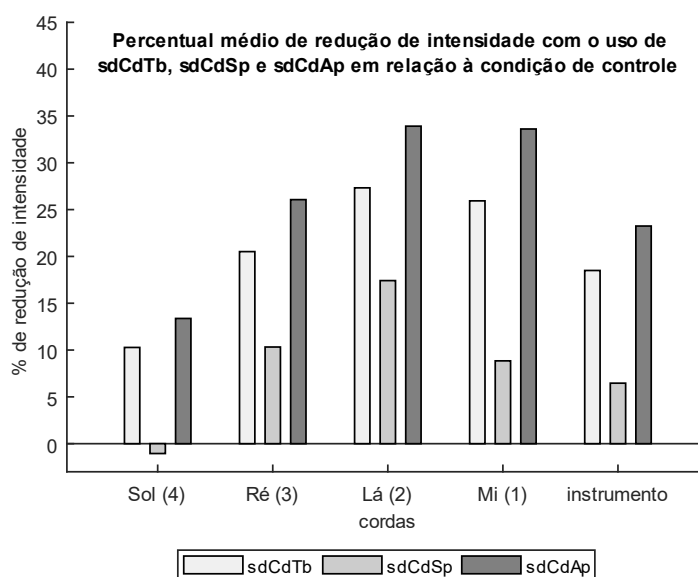
Gráfico 4.56 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas tubular Sihon, da Spector e da Alpine em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz.



Como pode ser observado no gráfico 4.57 os três dispositivos apresentaram tendências de atenuação similares nas quatro cordas, com a Lá sendo a mais afetada, seguida por Mi, Ré e Sol, sendo que, como já comentado, no caso da Spector, houve um pequeno aumento de intensidade, em relação à condição de controle, na corda Sol, sendo o único caso do tipo registrado em toda a presente amostragem. Além disso, a tubular Syhon e a Alpine apresentaram grande diferença de

atenuação entre a corda Sol e as cordas agudas, com um percentual de redução de intensidade com mais do dobro do valor para essas cordas, em relação ao registrado para a corda Sol. Na média do instrumento, as surdinas tubular Syhon e Spector apresentaram os menores percentuais de redução dentre as surdinas originais amostradas, principalmente a Spector, que reduziu a intensidade média do instrumento em apenas 6,5% em relação à condição de controle.

Gráfico 4.57 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle das surdinas tubular Sihon, Spector e Alpine.



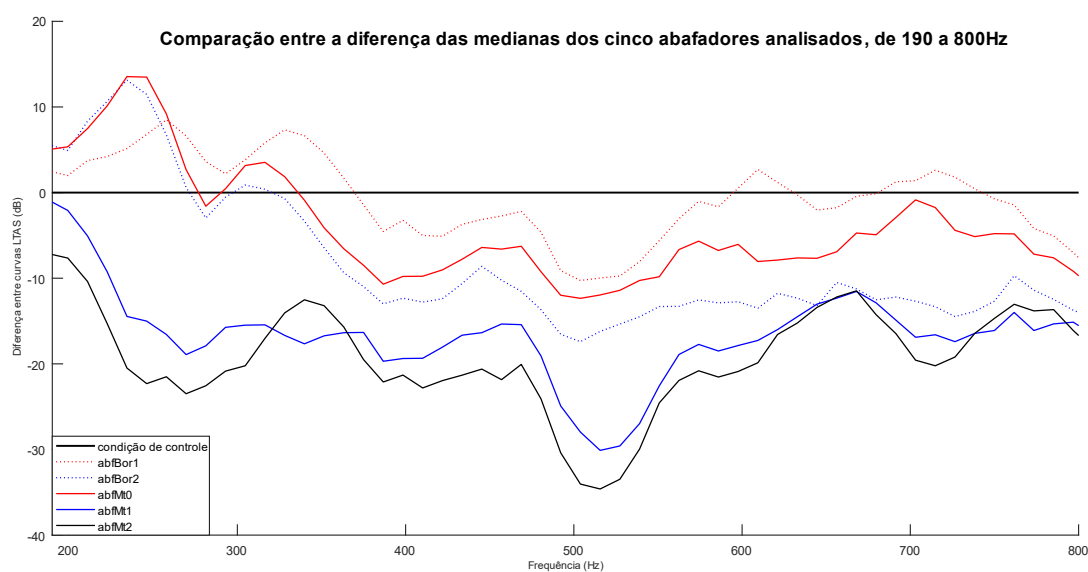
4.3.5 Análise comparativa entre as cinco surdinas de estudo/abafadores (*abfbor1*, *abfBor2*, *abfMt0*, *abfMt1* e *abfMt2*)

Dentre os cinco abafadores analisados na pesquisa, o abafador preto de borracha apresentou coeficiente de correlação de 0,86 com o abafador de metal leve, o abafador vermelho de borracha de 0,87 em relação, também, ao abafador de metal leve, e os abafadores de metal pesados de 0,94 entre si²⁰⁴, evidenciando uma diferença significativa entre os dispositivos mais leves e os dois mais pesados, que pode ser claramente observada pelo contorno das curvas das diferenças de suas LTAS em relação à condição de controle no gráfico 4.58. Na região do extremo grave do espectro os dois abafadores de borracha e o de metal leve, novamente, sugerem uma relação direta entre o peso dos dispositivos e as alterações que provocam nessa faixa do espectro: o vermelho de borracha e o de

²⁰⁴ O abafador preto de borracha alcançou, também, índice de 0,87 com *sdbor1*, 0,82 com *sdHfz*, 0,92 com *sdEbpq*, 0,88 com *sdEbgd* e, também, 0,88 com *sdMd*, tendo sido a surdina original que atingiu o segundo maior número de correlações com coeficiente acima de 0,8; o abafador vermelho de borracha alcançou também índice de 0,85 com *sdEbgd*; e o abafador de metal leve alcançou índice de 0,93 com *sdEbpq*, 0,92 com *sdEbgd* e 0,87 com *sdMd*.

metal leve, que possuem pesos próximos, 13,4 e 15,6 gramas respectivamente, geraram um ganho de energia bastante similar, enquanto o abafador de borracha preto, consideravelmente mais leve, com 7,6 gramas, produziu um efeito menor em termos de ganho, com pico deslocado um pouco mais para o agudo. Já os dois dispositivos pesados não geraram nenhum ganho nessa faixa, com o de metal pesado revestido de borracha tendo produzido uma perda de energia um pouco superior ao outro no extremo grave, embora com uma diferença relativamente pequena, considerando-se a grande diferença de peso entre os dois (44,9 e 58,65 gramas respectivamente). Importante ressaltar que esse efeito de perda de energia no começo do espectro só foi observado, dentre as surdinas originais analisadas, com esses dois dispositivos pesados, não sendo descrito em nenhum momento pela literatura relacionada, que sempre indica que o acréscimo de massa ao cavalete gera deslocamento de energia para frequências mais baixas. Aparentemente, entretanto, esse efeito tem um limite da massa que pode ser acrescentada ao sistema para ocorrer, acima do qual o comportamento vibratório do cavalete é de tal forma comprometido que não ocorre nenhuma transferência de energia para a região grave do espectro, antes pelo contrário, havendo grande perda de energia na mesma, o que pode ser ligado diretamente ao efeito de maior atenuação gerado por esses dispositivos pesados.

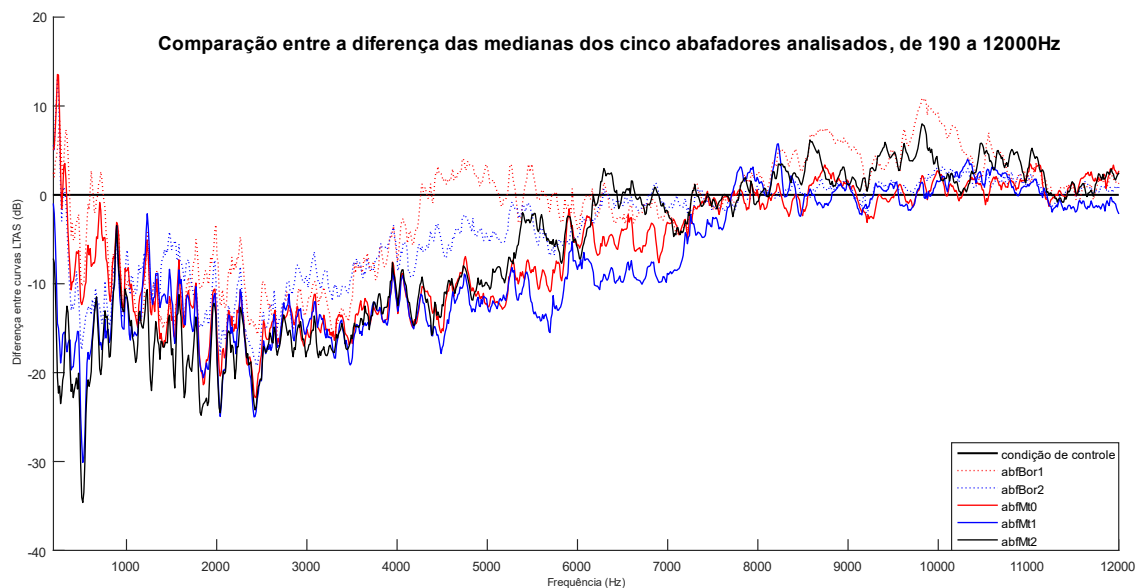
Gráfico 4.58 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.



Chama a atenção no gráfico 4.59, o fato de, na faixa do *bridge hill* e seu entorno (2.000 a 4.000 Hz), os cinco dispositivos terem produzido um efeito bastante próximo, não obstante as

grandes diferenças físicas entre os mesmos (de peso, material de construção e acoplamento com o cavalete), apenas com os dois dispositivos de borracha diferenciando-se ligeiramente, no geral, com suas curvas pouco acima da dos dispositivos de metal, gerando, portanto, um pouco menos de perda de energia em relação à condição de controle. Pontualmente, nos 3.000 Hz, as curvas dos três abafadores de metal quase se sobrepõem. A partir dos 4.000 Hz, as duas surdinas de borracha diferenciam-se dos dispositivos de metal, até por volta dos 6.200 Hz, onde, curiosamente, passam a ser acompanhadas pela curva do abafador de metal pesado revestido de borracha. Chama a atenção ainda, que dos 9 aos 10 kHz, essa surdina pesada, revestida de borracha, e o abafador vermelho de borracha tenham gerado um pico de ganho considerável, sugerindo alguma interação específica entre o material de construção e peso, já que o abafador preto (mais leve) não gerou esse efeito, nem tão pouco os outros dois feitos de metal (sem borracha).

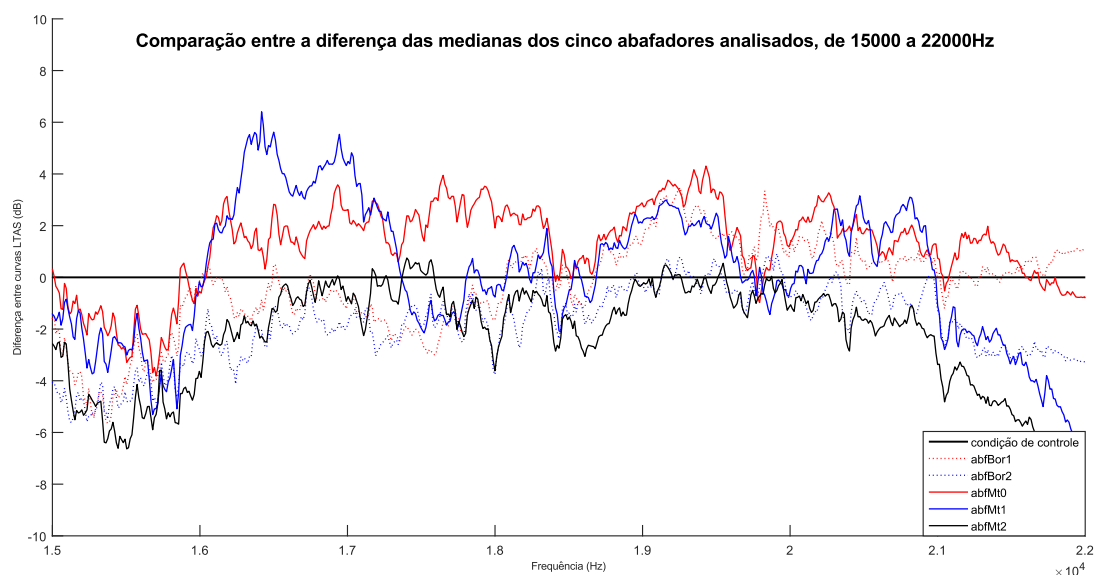
Gráfico 4.59 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz.



No gráfico 4.60, que abarca a porção final da faixa de frequências analisada (15 a 22 kHz), pode-se verificar que três dos cinco abafadores (abfBor2, abfMt0 e abfMt1) apresentaram picos de ganho em relação à condição de controle: os abafadores de metal leve e pesado no início dessa faixa (16 a 18,5 kHz) e depois os mesmos acompanhados pelo vermelho de borracha (18,6 a 21 kHz). Embora haja menos sensibilidade auditiva a essa faixa de frequência, principalmente o efeito dos dois dispositivos feitos exclusivamente de metal, a partir dos 16 kHz, pode estar ligado diretamente à percepção de sonoridade “metálica” produzida pelos mesmos, relacionada

geralmente à energia espectral em frequências mais altas. De qualquer forma, considerando-se também o outro ponto de ganho citado acima, ainda que sua audibilidade não seja grande, esse efeito indica claramente o alcance da ação das surdinas em todo o comportamento vibratório do cavalete, servindo como um indicativo importante de análise nesse quesito.

Gráfico 4.60 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS dos abafadores preto e vermelho de borracha, do abafador de metal leve, do abafador de metal pesado e do abafador de metal pesado revestido de borracha em relação à condição de controle, de 15.000 a 22.000 Hz.

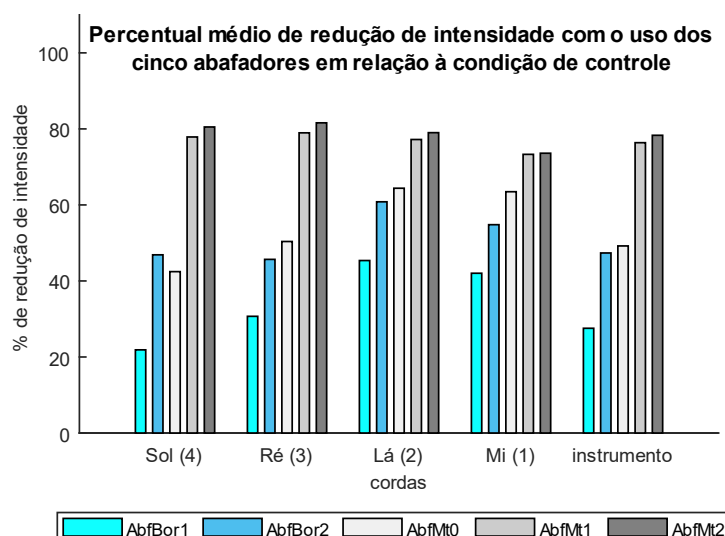


Em relação à atenuação, destacam-se os dois abafadores pesados (abfMt1 e abfMt2) que produziram atenuação média acima de 75%, um patamar muito maior do que o dos outros abafadores, que não chegaram a 50%. Além disso, como já observado, a diferenciação entre as cordas, no caso desses dispositivos foi muito menor do que a observada nas surdinas de performance e mesmo em relação aos outros abafadores. Ambos os efeitos, de grande atenuação e ação equilibrada entre as cordas, podem ser relacionados à perda de energia nas baixas frequências (gráfico 4.58), sendo ainda notório que essas duas surdinas de estudo foram as únicas a produzirem maior atenuação nas cordas graves do que nas agudas (gráficos 4.15e e 4.16e), também em sintonia com a completa ausência de transferência de energia espectral para as baixas frequências.

Também é relevante a grande proximidade de efeito entre o abafador vermelho de borracha e o de metal leve que, apesar das grandes diferenças físicas e de acoplamento (vide Figs. 3.14 e 3.15), geraram atenuação média muito próxima (47,36% e 49,21% respectivamente) indicando que a interação entre diferentes aspectos físicos das surdinas pode levar a efeitos próximos.

Quanto ao abafador preto de borracha, seu efeito, tanto em relação à LTAS (vide nota 204) quanto em relação à atenuação, o aproxima mais das surdinas de performance do que dos outros abafadores, tendo gerado uma atenuação média de apenas 27,55%, inferior a 30% como as demais surdinas de violino para performance, mantendo, também, a característica de grande diferenciação desse efeito entre as quatro cordas (das graves para as agudas: 22%, 31%, 45% e 42%).

Gráfico 4.61 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle dos cinco abafadores.



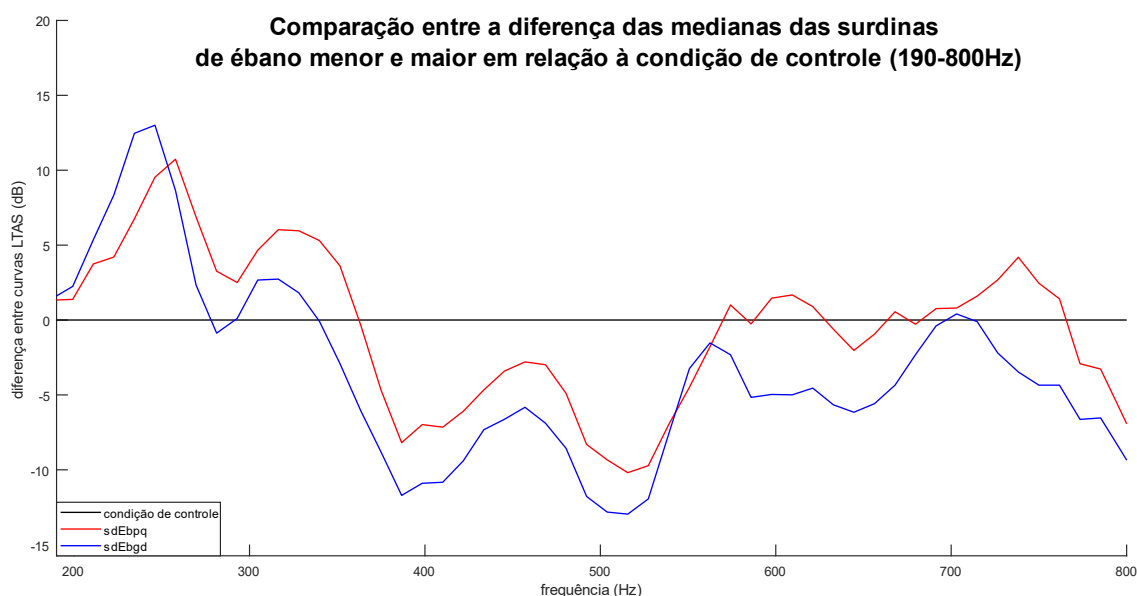
4.4 Análise dos resultados das prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas

4.4.1 Análise dos resultados do Estudo um

4.4.1.1 Dispositivos de formato similar feitos de mesmo material com pesos diferentes

Nessa primeira variação do estudo um, as surdinas de ébano menor e maior são comparadas, visando isolar especificamente a variável peso, já que em relação às demais características físicas, material de construção, formato e acoplamento com o cavalete, os dois dispositivos são praticamente idênticos.

Gráfico 4.62 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

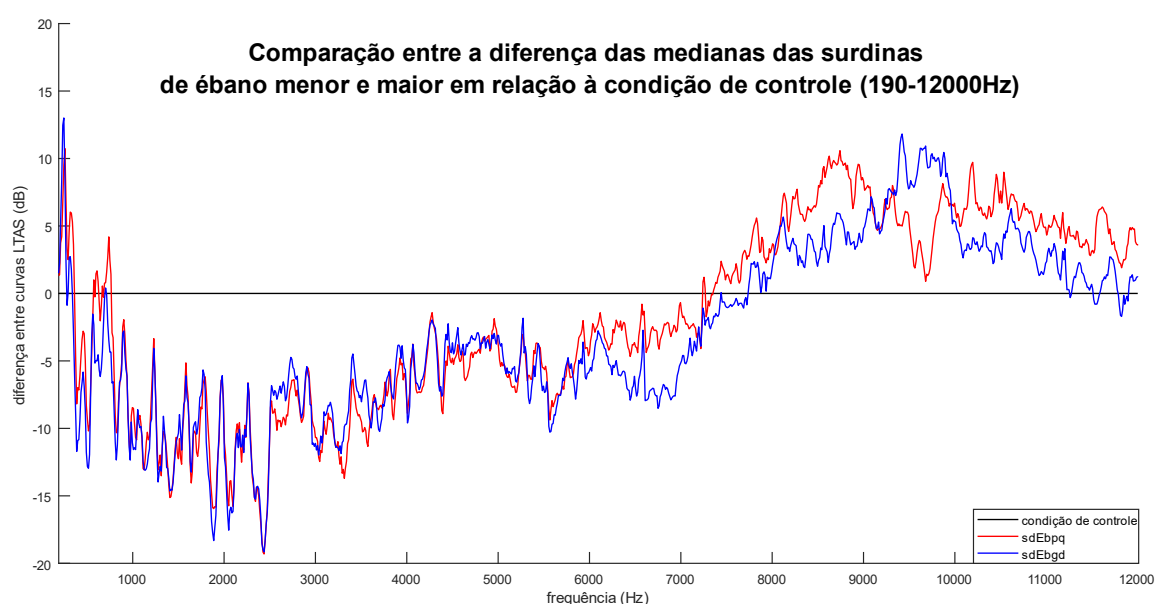


As duas surdinas apresentaram, como já observado na subseção 4.3.3, coeficiente de correlação de 0,96 (vide tabela 4.33). Entretanto, como já comentado na mesma subseção citada acima, as curvas da diferença das medianas das LTAS dessas surdinas em relação à condição de controle revelam que elas produzem alterações espectrais de mesma tendência, porém, com algumas diferenças significativas: observa-se no gráfico 4.62, que, embora haja deslocamento de energia espectral para as frequências mais baixas provocado por ambas, entre 196 e 360 Hz aproximadamente, este efeito é mais pronunciado com o uso da surdina de viola, que produz um ganho maior e mais concentrado numa faixa um pouco mais baixa do espectro, com o maior pico aos 246 Hz, enquanto a surdina menor tem seu maior ganho aos 257 Hz, com ambos os dispositivos gerando um segundo pico por volta de 315 Hz, porém, nesse ponto, com maior ganho da surdina menor. Essa relação entre peso e ganho no extremo grave, que vem sendo comentada nas análises comparativas das surdinas originais, aqui é particularmente significativa, dado o fato dos dois dispositivos comparados serem idênticos em suas demais características, podendo ser atribuído especificamente ao maior peso do dispositivo de viola, sendo, eventualmente, o efeito das surdinas para instrumentos de cordas melhor documentado pela literatura, que relaciona diretamente o deslocamento de energia espectral para as frequências baixas com a massa adicionada ao sistema, ao afetar o primeiro modo de ressonância do cavalete, localizado originalmente por volta de 3.000

Hz, e o segundo modo de ressonância do tampo do instrumento, localizado originalmente por volta de 400 Hz (EDWARDS, 1911; JANSSON; SUNDBERG, 1975; CREMER, 1984; KISHI, 1998; WOODHOUSE, 2005, 2014; BISSINGER, 2006; MEYER, 2009; FLETCHER; ROSSING, 2012; HARTMANN, 2013; HELLER, 2013; ELIE; GAUTIER; DAVID, 2014; MOUSAVION; SARKAR, 2015).

No gráfico 4.63, é possível observar, porém, como anteriormente comentado na subseção 4.3.3, que comparou os efeitos das surdinas de madeira, que a ação dos dispositivos é mais complexa do que a simples transmissão de energia para as frequências baixas, sendo bastante significativo o contraste entre a grande similaridade de efeito dos dois dispositivos na região do *bridge hill*, e, ao mesmo tempo, o já citado efeito característico de ganho na faixa de 8-14 kHz, produzido pelos dispositivos de ébano, que ocorre, porém, de maneira diferenciada entre os dispositivos de pesos diferentes, com sdEbpq gerando um pico entre 8-9 kHz e sdEbgd entre 9-10 kHz. Enquanto o efeito no *bridge hill* parece estar relacionado ao tipo de acoplamento com o cavalete, no caso, idêntico, a diferenciação no ganho mencionada acima parece sofrer, também, influência do peso dos dispositivos, já que seus formatos são muito próximos, sendo apenas a surdina maior ligeiramente mais larga: ou seja, o maior peso da surdina de ébano deslocaria o ganho de energia na parte baixa do espectro para o grave, e o ganho por volta dos 12.000 para o agudo.

Gráfico 4.63 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS das surdinas de ébano menor e maior em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz.

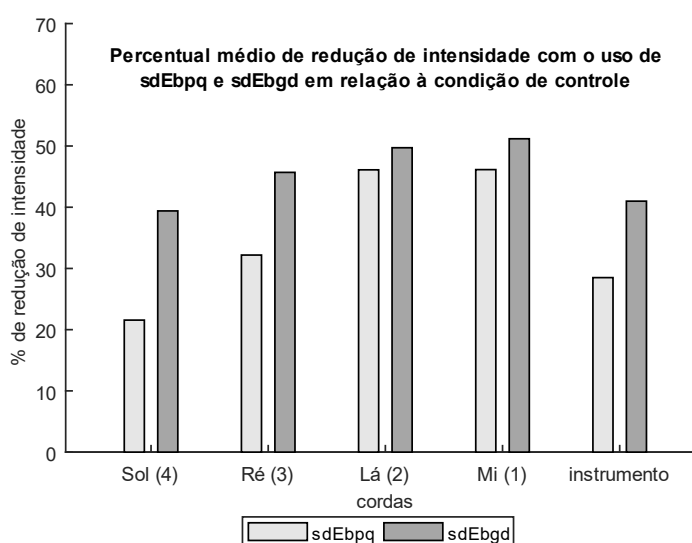


Em relação ao percentual de participação do residual não-harmônico, discriminado no quadro comparativo 4.3, as duas surdinas produziram alterações distintas: a menor, reduziu significativamente, na média do instrumento, esse índice, em relação à condição de controle, enquanto a maior praticamente manteve o mesmo, com um ligeiro aumento (de 0,71% para 0,73%). Embora esse resultado pareça indicar, em um primeiro momento, uma relação direta com o peso, já que os dois dispositivos possuem as demais características físicas similares, ao se analisar as variações por corda, fica clara a complexidade da atuação das surdinas, pois há uma grande diferenciação na variação dos residuais não harmônicos entre as cordas graves e agudas, inclusive com a surdina menor gerando, também, aumento dos percentuais nas cordas Lá e Mi, em relação à condição de controle.

Quadro comparativo 4.3 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios, com o uso da surdina de ébano menor e da surdina de ébano maior.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|--|--------|------|------|------|-------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEbgd | 0,43 | 0,56 | 9,95 | 8,86 | 0,73 |

Gráfico 4.64 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle da surdina de ébano menor e da surdina de ébano maior.

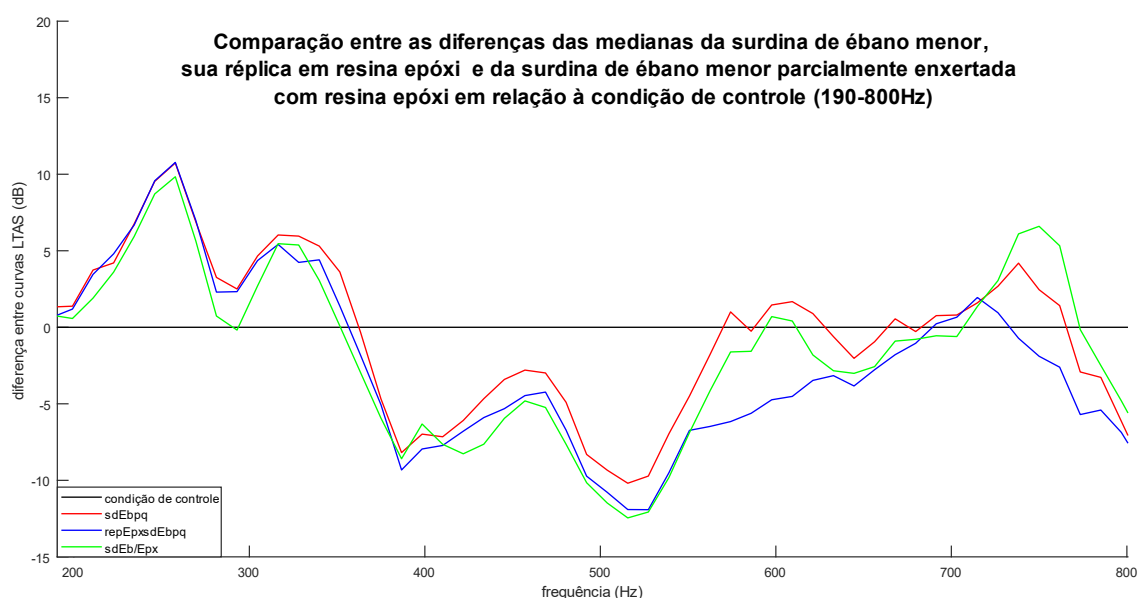


Em relação ao efeito produzido na intensidade média dos instrumentos, como pode ser observado no gráfico 4.64, a surdina maior causou uma perda de intensidade maior em relação à condição de controle do que a surdina de ébano menor, tanto nas médias das cordas separadamente, quanto na média do instrumento inteiro, e, embora os dois dispositivos tenham apresentado o mesmo padrão de perda entre as médias das cordas dos instrumentos, com uma perda crescente registrada progressivamente das cordas graves para as agudas, com o uso da surdina de viola a redução de intensidade nas cordas mais graves foi consideravelmente maior do que com o uso da surdina mais leve, enquanto que nas cordas mais agudas os dois dispositivos provocaram alterações na intensidade mais próximas.

4.4.1.2 Dispositivos de mesmo formato e peso similar, feitos com diferentes materiais

Nessa segunda variação do *Estudo um*, o material de confecção dos dispositivos é a variável que se procura isolar, já que o peso, formato e acoplamento com o cavalete são similares.

Gráfico 4.65 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

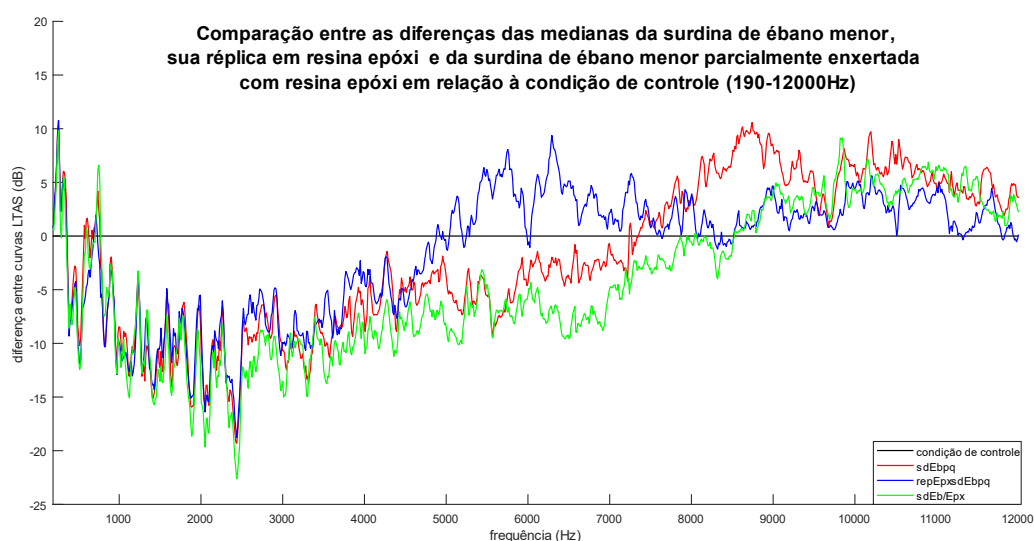


São comparadas com a surdina de ébano menor (6,44 gramas) uma réplica da mesma, feita integralmente de resina epóxi (6,40 gramas) e um dispositivo que manteve a base original de ébano, mas, teve sua parte superior enxertada com resina epóxi do mesmo tipo, preservando o formato e mantendo um peso muito próximo à original (6,85 gramas). As duas surdinas apresentaram coeficiente de correlação entre as diferenças das curvas de dados reduzidos de LTAS

em relação à condição de controle com a original integralmente feita de ébano de 0,89 e 0,97, respectivamente, sendo esse segundo coeficiente o maior verificado entre os diferentes dispositivos, igualado somente pelo de outras duas surdinas; já entre si, os dois dispositivos alterados apresentaram coeficiente de correlação de 0,86 (vide tabela 4.33).

Ao se observar o gráfico 4.65 percebe-se uma grande similaridade entre as curvas das diferenças das medianas em relação à condição de controle dos três dispositivos, na região mais baixa do espectro, indicando que as variações de material de confecção não tiveram maior impacto nesse quesito. A partir dos 500 Hz percebe-se uma primeira diferenciação entre as surdinas, com a original e a parcialmente preenchida com resina mantendo um perfil bem próximo, enquanto a réplica integral de epóxi gera uma perda mais significativa de energia nessa faixa. Apenas por volta dos 760 Hz a surdina enxertada provocou um ganho de energia diferenciado em relação à original.

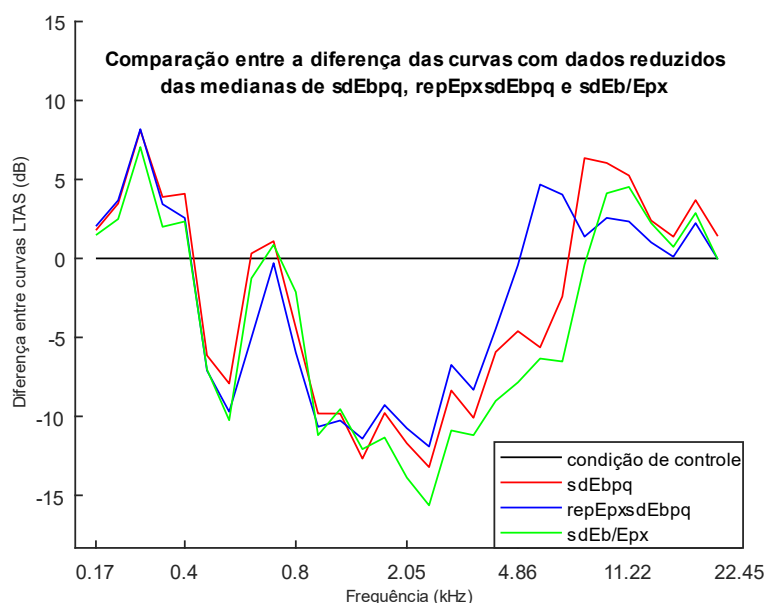
Gráfico 4.66 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle, de 190 a 12.000 Hz.



No gráfico 4.66 pode ser verificado que a região do *bridge hill* foi afetada de forma uniforme pelos três dispositivos. Já, porém, o pico de energia característico da ação da surdina de ébano menor, já citado anteriormente, não foi reproduzido da mesma forma pelos dois dispositivos alterados, sobretudo pela réplica de resina, que provocou efeito similar à original, porém, entre os 5-8 kHz, portanto, numa faixa de frequências mais baixa do que a original (pico por volta de 9 kHz). Já o dispositivo parcialmente enxertado acompanhou parcialmente a curva da original apenas na altura dos 10 kHz. Essa diferenciação dos três dispositivos, em relação à variação da distribuição da energia espectral em relação à condição de controle, pode ser bem sintetizada pelo

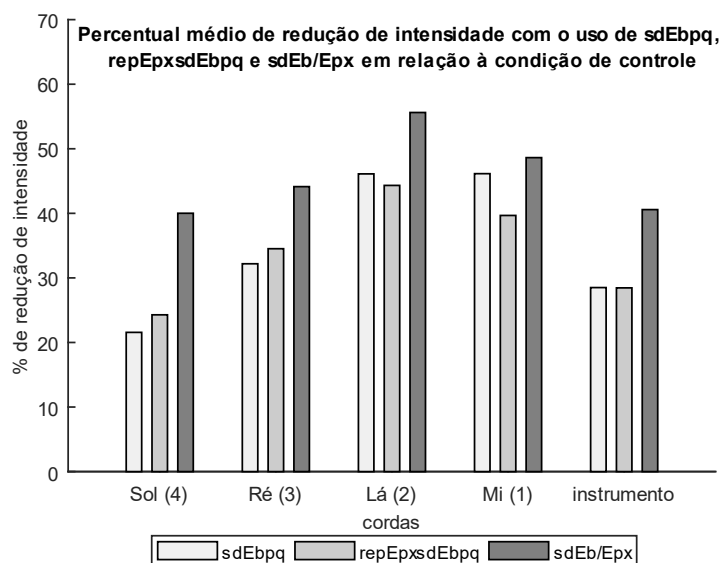
gráfico 4.67, que apresenta a diferença da LTAS das curvas com dados reduzidos das medianas dos três dispositivos comparados, em relação à condição de controle, no qual a variação notável entre as três curvas, a partir dos 4.000 Hz, até próximo dos 20.000 Hz, é claramente delineada, em sintonia com os coeficientes de correlação entre os dispositivos relatados acima. Tais resultados sugerem diferentes acoplamentos acústicos, incluindo eventualmente efeitos de ressonância, entre as surdinas e o cavalete, determinados pelo material de construção.

Gráfico 4.67 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos de LTAS das medianas da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi em relação à condição de controle.



Em relação à variação na intensidade, como pode ser observado no gráfico 4.68, a réplica em resina epóxi apresentou um índice de redução de intensidade em relação à condição de controle bastante próxima à da original, quando comparadas as médias dos instrumentos. Em relação a cada corda separadamente, porém, houve uma diferenciação clara, com a réplica de resina provocando maior redução nas cordas graves e menor nas agudas, o que pode ter relação com o fato do ganho de energia gerado por esse dispositivo na região aguda (por volta dos 12.000 Hz) do espectro ocorrer em frequências mais baixas do que naquelas onde a surdina original produz o mesmo efeito. Já em relação à surdina enxertada com resina, esse dispositivo gerou uma redução de intensidade significativamente maior que as outras duas surdinas, que não parece justificável pela pequena diferença de peso em relação às mesmas, sugerindo que, também, esse efeito pode estar relacionado às alterações verificadas nesta região do espectro, entre 5-10 kHz, onde esse dispositivo não apresentou ganho de energia significativo, em comparação com os outros dois, que, em pontos distintos, reforçaram a distribuição espectral nessa faixa.

Gráfico 4.68 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, de sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi.



Em relação aos percentuais de participação dos residuais não harmônicos (quadro comparativo 4.4), a réplica de epóxi, assim como a surdina original de ébano, apresentou redução em relação à condição de controle, com apenas a surdina enxertada tendo tido um ligeiro aumento em relação à condição de controle. Dadas as características comuns aos três dispositivos, é possível que a combinação de materiais presentes no dispositivo enxertado tenha gerado algum tipo de perturbação no comportamento vibratório dessa surdina, justificando essa diferenciação nos resultados desse descritor, além da maior redução de intensidade que, junto ao peso, parece estar relacionada diretamente ao mesmo.

Quadro comparativo 4.4 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios, com o uso da surdina de ébano menor, sua réplica em resina epóxi e da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com resina epóxi.

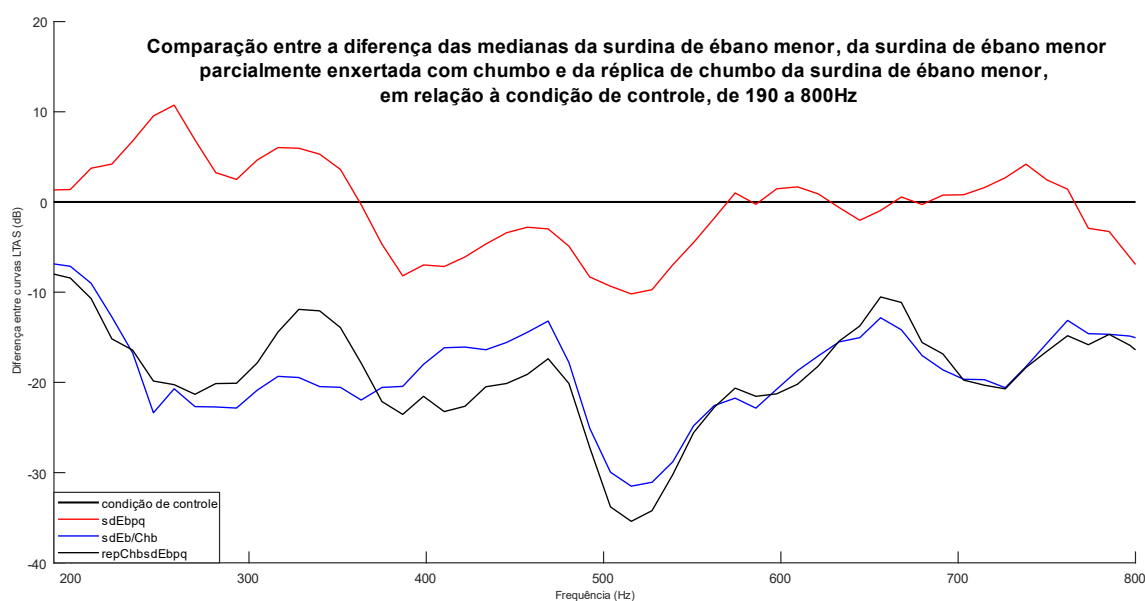
| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|--|--------|------|------|------|-------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEb pq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| repEpxsdEb pq | 0,39 | 0,40 | 9,36 | 7,75 | 0,59 |
| sdEb/Epx | 0,74 | 0,42 | 8,12 | 7,10 | 0,80 |

4.4.1.3 Dispositivos de mesmo formato feitos com materiais diferentes e pesos diferentes

Foram utilizados dois dispositivos (surdina de ébano menor e o abafador de metal pesado revestido de metal) para essa variação do estudo um, onde se compara cada uma delas com suas versões feitas com materiais diferentes e com pesos também diferentes.

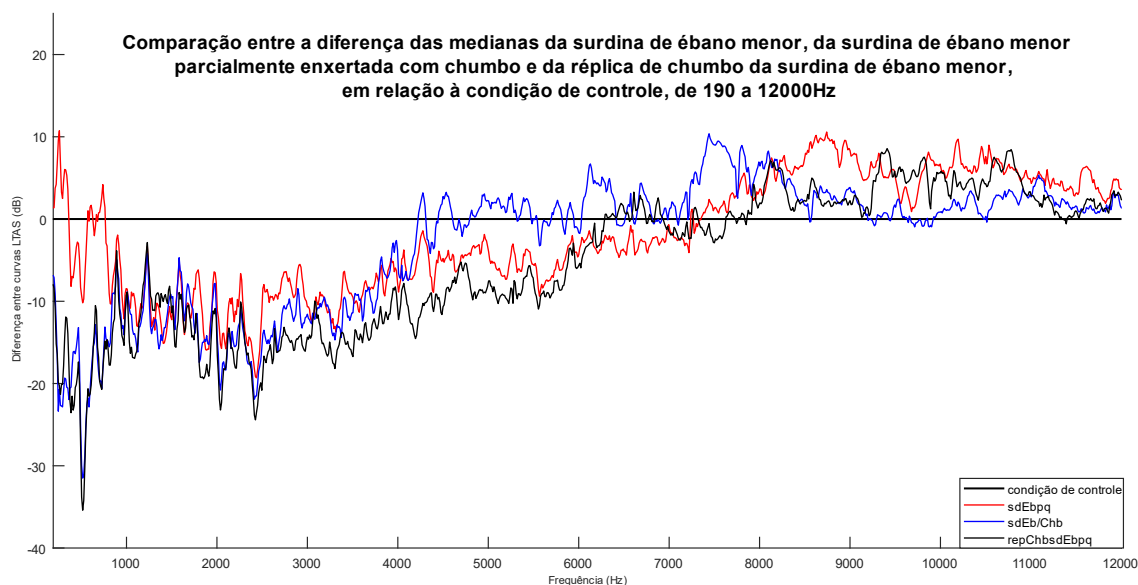
Foram comparadas com a surdina de ébano menor original (6,44 gramas) duas variações da mesma: um dispositivo que manteve a base original de ébano, mas, teve sua parte superior enxertada com chumbo (37,22 gramas) e uma réplica feita integralmente com chumbo (70,30 gramas). Dentre os três dispositivos, apenas o dispositivo enxertado com chumbo e a réplica integral do mesmo material apresentaram coeficiente de correlação de 0,92, não tendo nenhuma outra interação entre os mesmos chegando ao coeficiente de 0,8 (vide tabela 4.33).

Gráfico 4.69 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo, de 190 a 800 Hz.



Como pode ser observado no gráfico 4.69 os dois dispositivos alterados produziram efeitos espectrais similares entre si e completamente distintos em relação à surdina original, na região grave do espectro, provocando uma grande perda de energia nessa região onde o original de ébano produz ganho, típica dos abafadores pesados de metal. Chama a atenção a similaridade entre as duas curvas dessas surdinas alteradas, já que o dispositivo parcialmente enxertado com chumbo tem praticamente metade do peso da réplica feita integralmente de chumbo, o que indica que o acréscimo de peso, como já observado anteriormente, possui um limite de ação em relação à perda de energia nas faixas mais baixas do espectro.

Gráfico 4.70 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo, de 190 a 12.000 Hz.



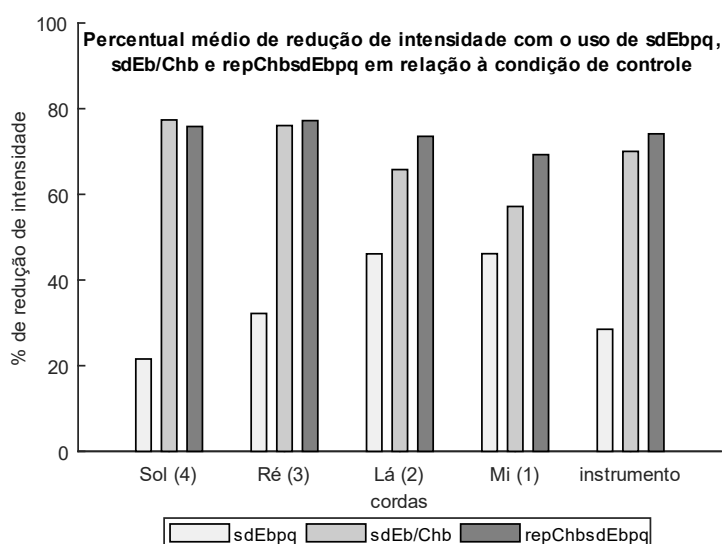
Da mesma forma, é surpreendente que as três surdinas tenham gerado curvas de corte em relação à condição de controle extremamente próximas entre si, entre os 1.000 e os 2.500 Hz, diferenciando-se bastante pouco no *bridge hill*, dada a enorme diferença de peso entre os três dispositivos (a réplica de chumbo é mais de dez vezes mais pesada que a original de ébano). Esse resultado sugere haver relação especificamente entre o tipo de acoplamento com o cavalete e o efeito na zona do *bridge hill*, já que nesse caso esse é o único elemento em comum entre os três dispositivos, sendo relevante observar que na subseção anterior (4.4.1.2), o mesmo efeito foi registrado com os dispositivos alterado com resina epóxi e, também, em outras análises comparativas. Da mesma forma, o dispositivo parcialmente enxertado com chumbo gerou um ganho entre 7-8 kHz, similar ao efeito produzido pelo enxertado com resina entre 5-7 kHz (gráfico 4.66), ambos produzindo esse efeito em faixas de frequência mais baixas do que a original de ébano (9 kHz), nesse caso sugerindo que esse efeito está relacionado, além do peso, à forma do dispositivo. Essa surdina de ébano possui um topo relativamente grande e inteiriço, tendo sido o mesmo reproduzido integralmente em suas réplicas, integrais ou não, sugerindo que, eventualmente, essa característica física gere acoplamentos acústicos específicos com o cavalete, produzindo algum tipo de ressonância no próprio corpo da surdina, levando a esse efeito característico de ganho de energia, que ocorreu com todos os dispositivos do gênero, ainda que feitos de diferentes materiais, variando, apenas, a faixa de frequência em que se manifestaram.

Quadro comparativo 4.5 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e sua réplica de chumbo.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEb/Chb | 7,36 | 12,78 | 10,24 | 14,97 | 10,64 |
| repChbsdEbpq | 5,03 | 9,89 | 11,13 | 12,99 | 7,61 |

Quanto aos percentuais de participação do residual não harmônico, apresentados no quadro comparativo 4.5, o grande aumento registrado nesses valores é compatível com o que vem sendo observado com o uso de abafadores pesados, sendo relevante observar que o dispositivo com chumbo enxertado apresentou um percentual bem superior ao feito integralmente com o mesmo material, o que sugere, novamente, que a combinação de materiais gera implicações no comportamento vibratório dos dispositivos afetando esse aspecto de análise.

Gráfico 4.71 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo e de sua réplica de chumbo.

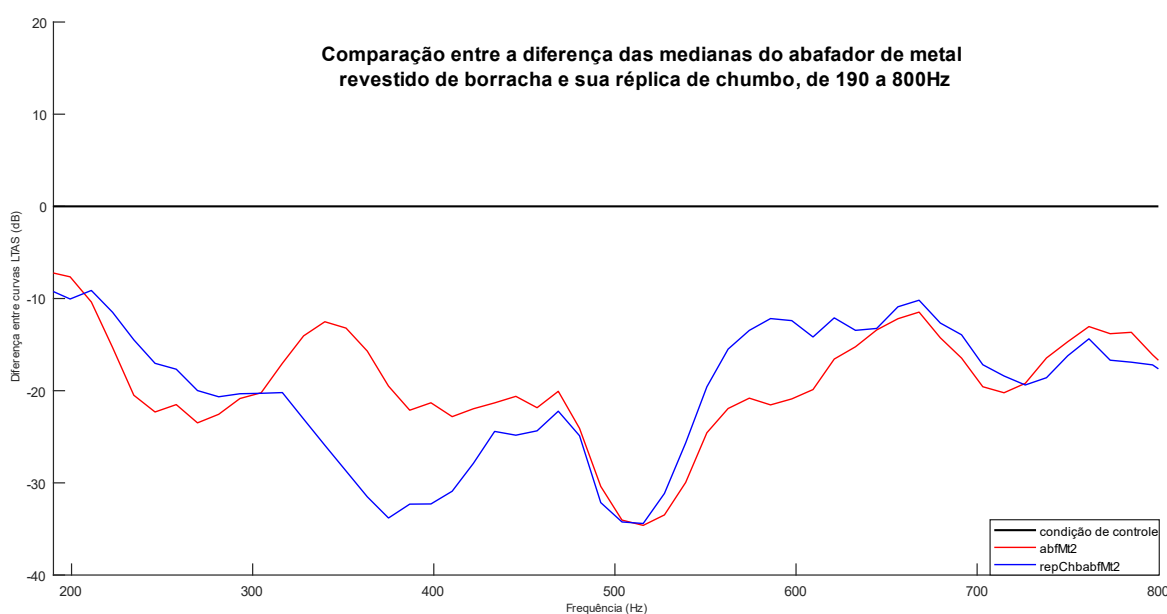


Em relação à variação na intensidade, como pode ser visto no gráfico 4.71, os dois dispositivos alterados produziram efeitos próximos, com percentuais de redução bem altos na

média do instrumento (70% para a surdina com chumbo enxertado e 74% para a réplica integralmente feita de chumbo), em relação à condição de controle, comportando-se de forma similar, também, na análise das cordas separadamente. Chama a atenção, de fato, a pequena diferença entre o efeito produzido pelas duas surdinas, já que a diferença de peso entre as duas é muito grande, como já observado, indicando, junto a outras análises já comentadas, que esse efeito, assim como a perda de energia nas baixas frequências, possui um limite de ação do fator peso, além do qual, há pouca alteração, ou pelo menos, de maneira bastante desproporcional à variação da massa.

Na comparação entre o abafador de metal pesado revestido de borracha e sua réplica feita integralmente de chumbo, que atingiu coeficiente de correlação de 0,92, percebe-se grande similaridade de efeito na região grave do espectro (gráfico 4.72), com diferença significativa somente entre os 300 e 380 Hz, indicando novamente, um limite para o efeito do acréscimo de peso das surdinas, já que há grande variação entre os dois dispositivos, sendo que a réplica de chumbo pesa mais do que o dobro que o abafador original (168,5 e 58,65 gramas respectivamente).

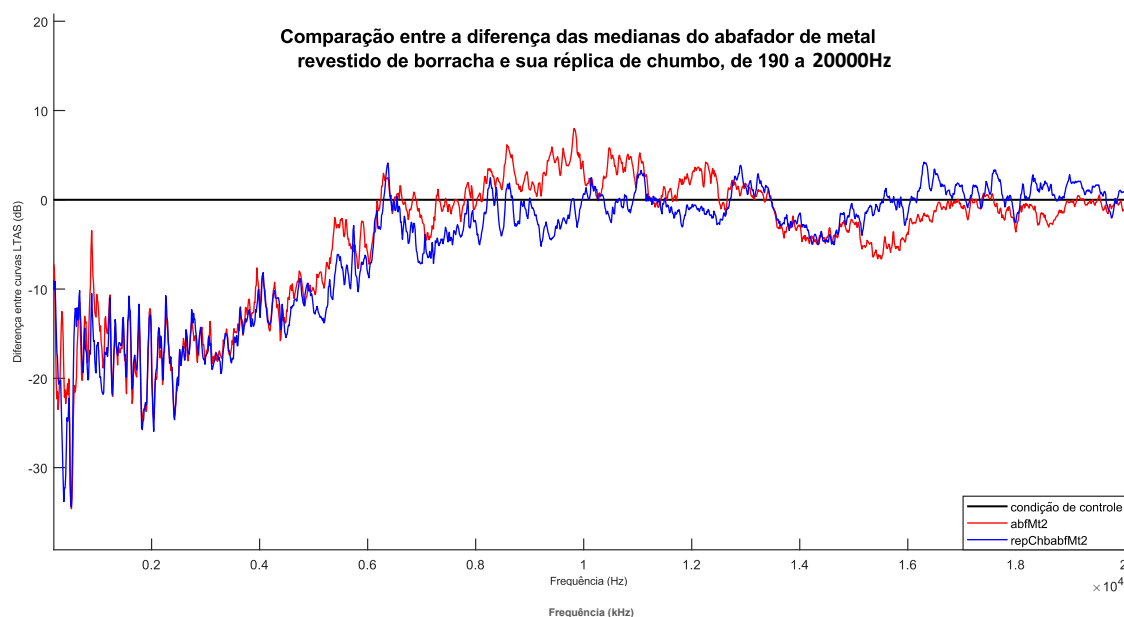
Gráfico 4.72 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo, de 190 a 800 Hz.



No gráfico 4.73, é possível observar que a faixa que compreende o *bridge hill*, novamente, sofreu alterações similares provocadas pelos dois dispositivos, não obstante a diferença de peso, sendo que os mesmos possuem acoplamento similar ao cavalete, já que possuem o mesmo formato. É relevante também que no trecho entre 8.500 e 13.000 Hz aproximadamente, o abafador original

produz um pico de ganho que não foi acompanhado pela réplica de chumbo, que, por sua vez, gerou um ganho modesto na altura dos 16,5 kHz que o original revestido de borracha não gerou, similar ao observado pelos outros dispositivos integralmente feitos de metal (gráfico 4.60), sugerindo relação com o material de construção dos dispositivos.

Gráfico 4.73 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo, de 190 a 20.000 Hz.



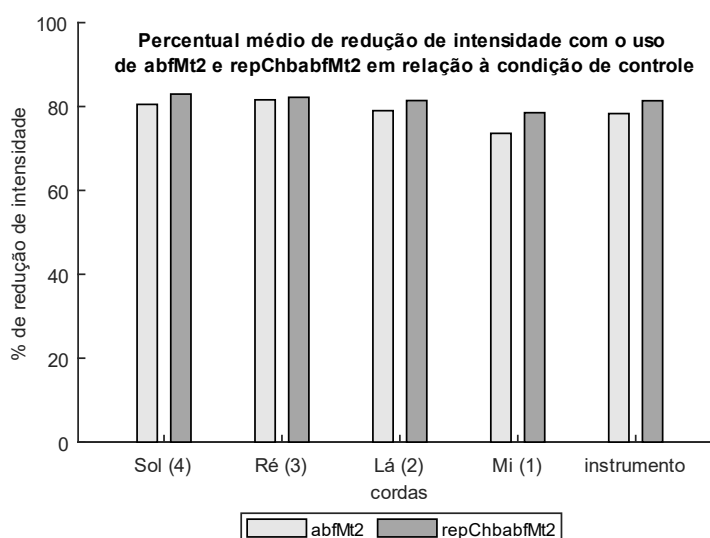
Quanto aos percentuais de participação do residual não harmônico (quadro comparativo 4.6) os dois dispositivos apresentaram grande aumento em relação à condição de controle, destacando-se o fato do abafador de metal pesado revestido de borracha ter gerado um percentual bem menor na corda Sol que nas demais, enquanto a réplica produziu um efeito mais equilibrado entre as quatro cordas.

Quadro comparativo 4.6 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso do abafador de metal revestido de borracha e sua réplica de chumbo.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt2 | 8,10 | 20,48 | 19,51 | 21,30 | 13,72 |
| repChbabfMt2 | 15,30 | 15,60 | 20,25 | 16,62 | 16,28 |

O efeito de atenuação do abafador e sua réplica, discriminado no gráfico 4.74, é bastante próximo, em conformidade com as observações anteriores que apontam para um limite de ação desse quesito do fator peso, embora a réplica de chumbo, dispositivo de maior peso analisado em toda a presente pesquisa, tenha atingido o maior percentual de redução de intensidade média: 81% em relação à condição de controle. Ainda assim, dada a diferença de peso, é bastante desproporcional ao efeito produzido pelo abafador original, de 78% de atenuação.

Gráfico 4.74 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso do abafador de metal revestido de borracha e de sua réplica de chumbo.



4.4.2 Análise dos resultados do Estudo dois

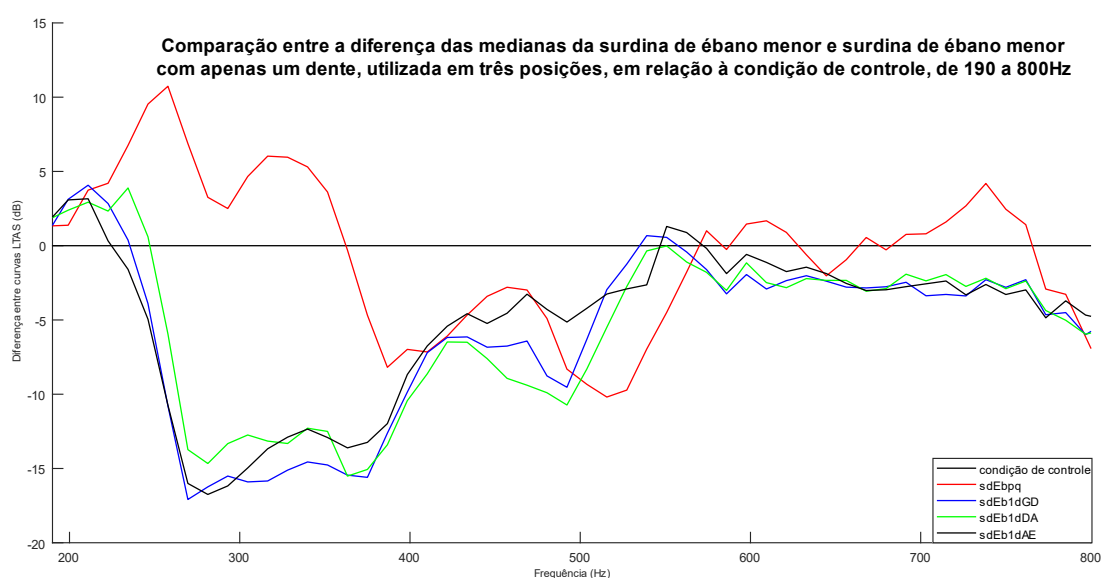
4.4.2.1 Alteração do número de dentes que entram em contato com o cavalete em diferentes acoplamentos

Foram utilizados três dispositivos alterados para essa primeira subseção do *Estudo dois*, uma versão da surdina de ébano menor com apenas um dente, uma com dois dentes próximos e uma com dois dentes afastados, analisados em dois agrupamentos: as três variações do posicionamento da surdina de ébano menor com apenas um dente comparadas com a original, e as duas posições de uso que empregaram a surdina de ébano menor com dois dentes próximos, junto à única com dois dentes afastados, comparadas, também, com a surdina de ébano menor original.

Na primeira variação da primeira subseção do *Estudo dois*, com somente a surdina de ébano menor com apenas um dente (vide Fig. 3.20a), pesando 4,90 gramas, como pode ser observado no gráfico 4.75, as três posições de uso com esse mesmo dispositivo, entre cada um dos

três pares de cordas (Sol/Ré, Ré/Lá e Lá/Mi), apresentaram um perfil bastante similar entre suas curvas na região grave do espectro, provocando um ganho em relação à condição de controle bem menor do que o dispositivo original (quase 50% mais pesado do que esse alterado, com suas 6,44 gramas), indicando mais uma vez que o principal fator a determinar esse efeito, nessa região grave, é o peso. Houve pequena diferenciação entre os 200 e os 270 Hz, com o uso entre as cordas Sol/Re gerando um pouco mais de ganho do que entre as cordas Ré/Lá, no início dessa faixa, e o uso entre as cordas Lá/Mi gerando ganho similar ao da Sol/Ré, porém, no fim do trecho (por volta dos 260 Hz). Fora isso, apenas entre os 420 e os 580 Hz chama a atenção as três posições de uso com um dente geraram perda de energia próxima à do dispositivo original e mesmo um pouco menos do que este entre os 500 e os 580 Hz.

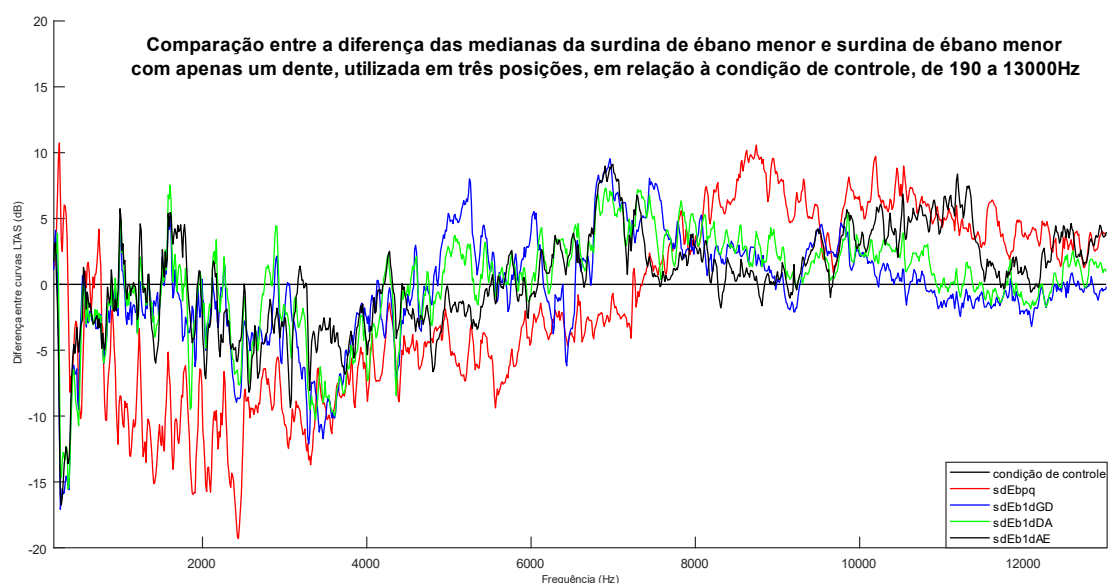
Gráfico 4.75 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso, de 190 a 800 Hz.



No gráfico 4.75, observa-se que as três posições de uso com um dente mantiveram curvas próximas entre si na região do *bridge hill* e em seu entorno, porém, bastante diferenciadas da curva do dispositivo original. Principalmente entre os 1.000 e os 2.000 Hz, a perda de energia em relação à condição de controle foi muito menos expressiva do que com o uso do dispositivo original. Da mesma forma, entre os 8.000 e os 10.000 Hz, onde a surdina de ébano menor original produz um característico pico de ganho, as três posições de uso desse dispositivo não acompanharam esse efeito da original, tendo, porém, gerado um ganho similar, de maneira bem uniforme entre si, um pouco mais grave, entre 7.000 e 8.000 Hz, indicando que esse efeito tem relação com o material de construção e, eventualmente, o formato (a parte superior do dispositivo foi preservada em

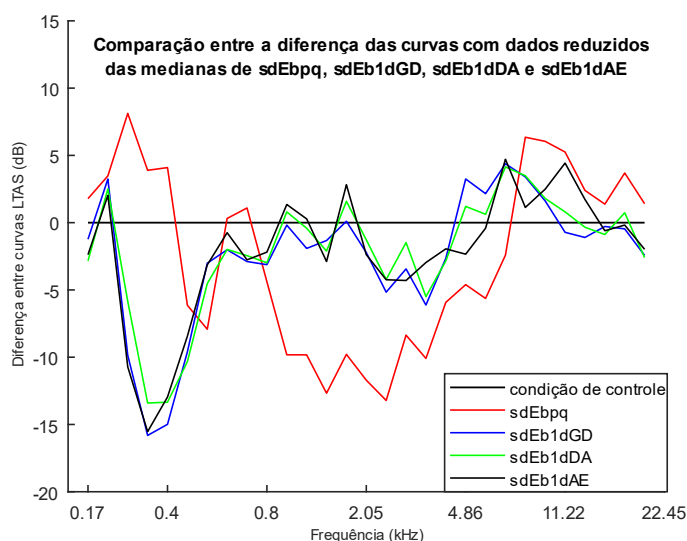
relação à original, apesar da redução do número de dentes). Por volta dos 10.000 Hz, entretanto, onde a surdina original mantém um pico de ganho, apenas a posição de uso entre as cordas Lá/Mi produziu efeito similar, enquanto as outras posições de uso da versão com um dente, entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá, não tiveram a mesma ação, indicando aí, influência, também, do posicionamento na definição desses picos característicos dos dispositivos de ébano.

Gráfico 4.76 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso, de 190 a 12.000 Hz.



Os três usos da surdina de ébano menor com apenas um dente não atingiram coeficiente de correlação de pelo menos 0,8 em relação ao dispositivo original, porém, entre si sim: o uso entre as cordas Sol/Ré obteve um alto coeficiente, de 0,96, em relação ao uso entre Ré/Lá e 0,91 em relação ao uso entre Lá/Mi, enquanto as posições de uso Ré/Lá e Lá/Mi atingiram o coeficiente de 0,92 entre si (vide tabela 4.33). O gráfico 4.77, que compara a diferença entre as curvas com dados reduzidos de LTAS das medianas dos quatro dispositivos analisados aqui deixa evidente essas similaridades e diferenças, indicando que uma maior distinção entre as três posições de uso do dispositivo alterado ocorre a partir dos 4.000 Hz, aproximadamente, mantendo grande proximidade entre si nas frequências inferiores a esse valor.

Gráfico 4.77 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos das medianas de LTAS da surdina de ébano menor, e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso.



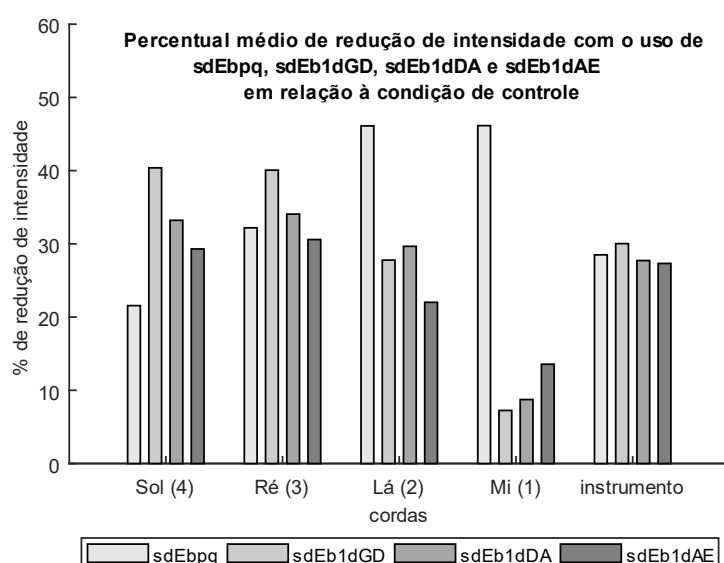
Em relação aos percentuais de participação do residual não harmônico, discriminados no quadro comparativo 4.7, as três posições de uso do dispositivo com um dente apresentaram aumento significativo, próximo entre si, em relação à condição de controle, ao contrário da surdina original que gerou um percentual de residual não harmônico menor (0,48%) em relação à condição de controle (0,71%). Pode-se considerar na análise desse efeito que o fato do dispositivo alterado com um apenas um dente tocar o cavalete em um único ponto o deixa mais “solto”, lembrando que seu topo inalterado é bem maior que a largura de um único dente, sugerindo que, eventualmente, esse fato pode ter contribuído para a geração de ruídos de características não harmônicas, ao vibrar no topo do cavalete de forma mais livre do que quando fixo ao mesmo por mais um ou dois dentes.

Quadro comparativo 4.7 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e com a surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|---|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEb1dGD | 1,16 | 1,33 | 1,76 | 3,61 | 1,29 |
| sdEb1dDA | 1,06 | 1,55 | 2,16 | 5,19 | 1,31 |
| sdEb1dAE | 1,04 | 1,40 | 1,42 | 5,78 | 1,23 |

Na análise da variação da intensidade, em relação à média de todo o instrumento, observa-se que o uso do dispositivo alterado com um dente entre as cordas Sol/Ré aumentou ligeiramente o efeito de atenuação, enquanto nas outras duas posições de uso o mesmo reduziu muito pouco, quando comparado ao efeito produzido pela surdina original. Porém, nas cordas separadamente houve grande variação: somente na corda Ré a alteração do percentual de redução de intensidade provocado pelo emprego da surdina com um dente em relação à original não foi grande, com o uso entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá, aumentando ligeiramente a atenuação, enquanto nas cordas Lá/Mi o mesmo diminuiu um pouco; já na corda Sol, as três posições de uso da surdina com um dente aumentaram significativamente o percentual de redução de intensidade em relação ao provocado pelo original, com o uso entre as cordas Sol/Ré quase dobrando esse percentual, seguido pelo uso entre Ré/Lá e por fim entre Lá/Mi; nas cordas Lá e Mi, as três posições de uso do dispositivo alterado reduziram muito o efeito de atenuação, principalmente na corda Mi, tendo o uso entre as cordas Sol/Ré gerado a menor atenuação nessa corda, com um percentual de apenas 7%, contra os 46% de atenuação do dispositivo original, seguido por 9% com a posição de uso Ré/Lá e 14% com a posição de uso Lá/Mi. Com o uso desse dispositivo alterado a tendência de maior atenuação nas cordas agudas do que nas graves, característica da maior parte das surdinas originais analisadas inverteu-se, com a corda Mi, como observado acima, apresentando os menores percentuais de redução de intensidade.

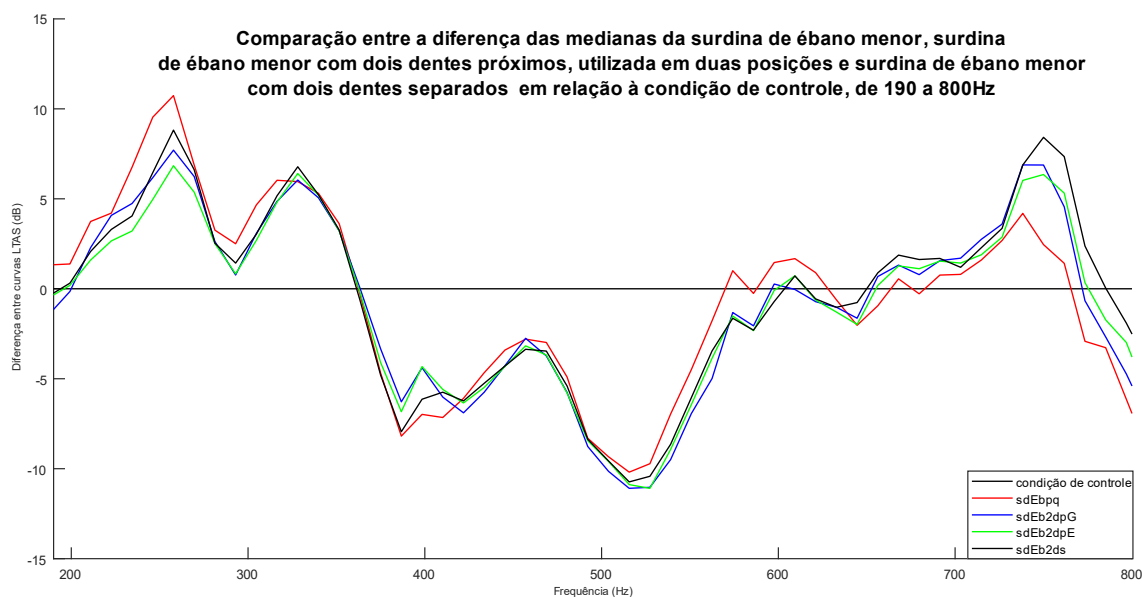
Gráfico 4.78 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor e da surdina de ébano menor com apenas um dente, utilizada em três configurações de uso.



Esse efeito pode ser relacionado ao fato do dente único não gerar acoplamentos entre pontos diferentes do cavalete, que, aparentemente, tem uma importância específica na maneira como a peça vibra e, conseqüentemente, na transmissão de energia feita pela mesma entre as cordas e o tampo do instrumento, tendo grande peso no efeito de redução de intensidade. É notável também a relação entre a posição de encaixe e o efeito contrário de atenuação entre as cordas Sol e Mi: quanto mais para o lado das cordas graves essa surdina de um dente foi colocada no cavalete, maior foi a atenuação na corda Sol e menor na corda Mi; assim, em relação às três posições de uso desse dispositivo, com o uso entre Sol/Ré, atenuação máxima na corda Sol e mínima na Mi, com o uso entre Ré/Lá, atenuação um pouco menor na Sol e um pouco maior na Mi e, finalmente, com o uso entre Lá/Mi, atenuação mínima na Sol e máxima na Mi.

Na segunda variação da primeira subseção do *Estudo dois*, com o uso das surdinas de ébano menor com dois dentes, próximos e afastados (vide Figs. 3.20b e 3.20c, respectivamente), percebe-se, no gráfico 4.79, uma grande proximidade entre as medianas de suas LTAS e a da surdina original na região grave, a não ser pelo pico no extremo grave do espectro. Com pesos muito próximos entre si (4,85 e 4,90 gramas respectivamente para a surdina com dois dentes próximos e a com dois dentes afastados), os dois dispositivos alterados têm aproximadamente dois terços do peso da original (6,44 gramas), o que se reflete nesse gráfico: no pico de ganho por volta dos 270 Hz, a original teve um efeito mais forte que as duas posições de uso da surdina com dois dentes próximos (do lado das cordas graves, com seus dois dentes encaixando entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá e do lado das agudas, com os dois dentes encaixando entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi) e da com dois dentes separados (encaixados entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi), que mantiveram entre si curvas similares, com pequena variação no ganho gerado pelos dispositivos nesse ponto, corroborando a relação do peso com o efeito de deslocamento de energia para as baixas frequências, com um papel secundário representado pela variação dos pontos de acoplamento, já que a diferença de peso entre os dois dispositivos alterados pode ser considerada irrisória (0,05 gramas, pouco mais de 1% do peso de ambas), diferentemente da diferença de peso para o dispositivo original (aproximadamente 25% de diferença entre as alteradas e a original). Além desse ponto, porém, é impressionante a similaridade das quatro curvas relativas às quatro condições de estudo comparadas, só se distinguindo na altura dos 740 Hz, onde um segundo pico de ganho gerado por todas as surdinas e diferentes posições de uso ocorre, porém, com a original tendo produzido aí o menor efeito, enquanto o dispositivo com dois dentes afastados alcançou o maior valor.

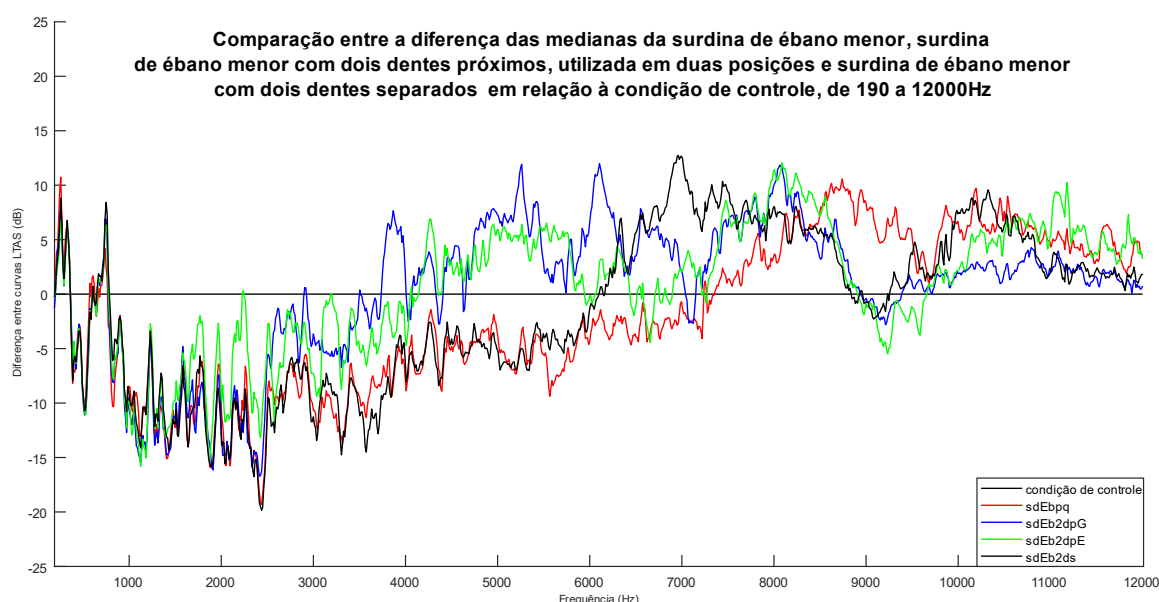
Gráfico 4.79 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 190 a 800 Hz.



Essa proximidade de efeito é indicada pelos coeficiente de correlação: a surdina de ébano menor original apresentou coeficiente de 0,82 com a versão com dois dentes próximos, utilizada do lado das cordas agudas (sdEb2dpE) e 0,94 com a versão com dois dentes separados (sdEb2ds); a versão com dois dentes próximos, utilizada do lado das cordas graves (sdEb2dpG) obteve coeficiente de 0,96 com a versão com dois dentes próximos, utilizada do lado das cordas agudas (sdEb2dpE) e 0,82 com a versão com dois dentes separados (sdEb2ds), que também apresentou o mesmo coeficiente de 0,82 com a versão com dois dentes próximos, utilizada do lado das cordas graves, (sdEb2dpG). Na região do *bridge hill* e seu entorno (gráfico 4.80) as curvas das duas configurações de uso com os dois dentes próximos se mantêm similares, se diferenciando das curvas da configuração com os dentes separados e da surdina original, que apresentam nesse ponto contornos extremamente próximos, gerando uma perda de energia maior do que as outras nessa faixa. A partir dos 4.000 Hz, até aproximadamente os 6.000Hz, porém, as duas posições de uso da surdina com dois dentes próximos geram um grande ganho de energia, enquanto as outras duas configurações analisadas aqui não produzem esse efeito. Somente a partir dos 6.000 Hz, a surdina com dois dentes afastados começa a gerar ganho de energia, alcançando o maior pico nos 7.000 Hz, enquanto as duas posições de uso com os dentes próximos perdem energia nesse ponto, antes de gerarem um novo ganho de energia após esse pico da configuração com os dentes afastados. Na altura dos 8.500 Hz, onde a surdina de ébano menor original tem, por sua vez, seu maior pico de ganho, todas as três condições de estudo que utilizaram as versões alteradas dessa surdina com dois dentes perdem energia, com as curvas das três bastante próximas nessa faixa. Esse efeito

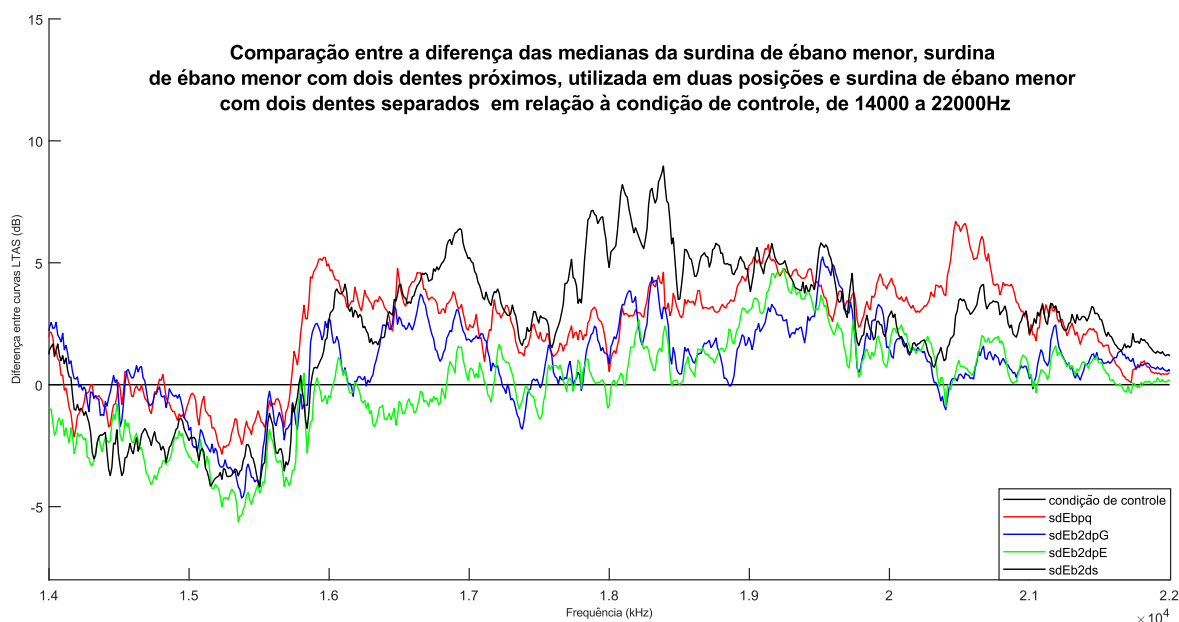
sugere, como na variação anterior, que o efeito de ganho nessa região aguda do espectro, provocada por dispositivos de ébano, está relacionado, de fato, à natureza do material de que são feitas e ao seu formato típico, mas, que o tipo de acoplamento com o cavalete altera significativa a altura em que o ganho maior ocorrerá. No presente caso há uma clara progressão na frequência em que ocorrem os picos de ganho: as duas posições de uso com dentes próximos na altura dos 5.300 Hz (com um pico secundário somente da posição de uso do lado das cordas graves aos 6.100 Hz), a configuração de uso com os dentes afastados na altura dos 7.000 Hz e a original aos 8.500 Hz.

Gráfico 4.80 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 190 a 12.000 Hz.



Ainda foi observado, como apresentado no gráfico 4.81, efeitos variados de ganho na região super aguda, dos 15,8 kHz até quase 22 kHz, por todas as configurações de estudo analisadas aqui, com destaque para um grande pico produzido pela surdina com dois dentes afastados, entre 17,5 e 18,5 kHz. Como já comentado antes na seção onde se discutiram as surdinas de estudo originais, ainda que essa região do espectro não seja de grande audibilidade, as mudanças na distribuição da energia espectral são forte indicativo da amplitude dos efeitos gerados por variações de um mesmo tipo de surdina.

Gráfico 4.81 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados, de 14.000 a 22.000 Hz.



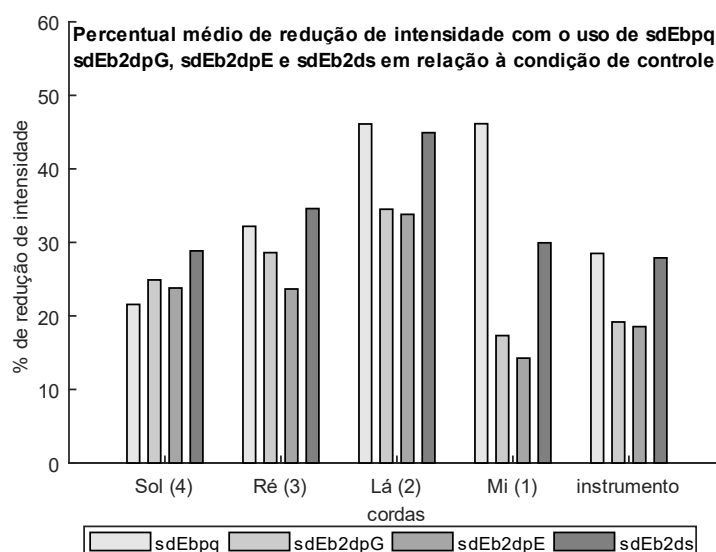
Quanto aos percentuais de participação do residual não harmônico (quadro comparativo 4.8) das três condições de estudo que utilizaram a surdina de ébano menor com dois dentes, somente a com os dentes próximos, utilizada do lado das cordas graves (sdEb2dpG) apresentou ligeiro aumento do residual não harmônico em relação à condição de controle. As duas outras condições de estudo com a surdina de ébano alterada com dois dentes (sdEb2dpE e sdEb2ds) tiveram participação do residual não harmônico maior do que o da surdina original, porém, inferior ao da condição de controle, ambas com 0,67%. No caso da surdina com dois dentes próximos usada do lado das cordas graves, destaca-se o grande percentual atingido na corda Mi especificamente, que, certamente, contribui para o aumento da média geral do dispositivo, já que os valores das outras cordas permaneceram mais próximos aos das demais condições de estudo comparadas aqui. Pode-se considerar nesse caso, que o efeito de diminuição dos percentuais de residual não harmônico produzido pela surdina original perdeu força com a diminuição dos pontos de contato com o cavalete ao reduzir os pontos de acoplamento de diferentes partes do cavalete, podendo isso estar também relacionado às diferentes regiões do espectro em que esses dispositivos geraram ganho de energia em relação à condição de controle.

Quadro comparativo 4.8 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e com a surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e com a surdina de ébano menor com dois dentes separados.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|--|--------|------|------|------|-------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEb2dpG | 0,43 | 0,36 | 6,36 | 9,77 | 0,82 |
| sdEb2dpE | 0,49 | 0,38 | 5,82 | 5,57 | 0,67 |
| sdEb2ds | 0,53 | 0,36 | 5,07 | 6,04 | 0,67 |

Na análise da variação de intensidade, apresentada no gráfico 4.82, chama a atenção, em primeiro lugar, que a utilização do dispositivo com dois dentes afastados gerou praticamente o mesmo efeito que a surdina de ébano menor original, apenas ligeiramente inferior, enquanto que as duas posições de uso com a surdina com dois dentes próximos reduziram a intensidade média do instrumento bem menos. Na corda Sol, as três condições de estudo com dispositivos de ébano com dois dentes aumentaram o efeito de atenuação, em relação ao da surdina original, com o maior percentual de redução atingido pela surdina com dois dentes afastados. Já nas cordas Lá e Mi, principalmente nessa última, as três condições de estudo geraram menor atenuação do que a surdina original, principalmente as duas posições de uso da surdina com os dois dentes próximos.

Gráfico 4.82 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor, da surdina de ébano menor com dois dentes próximos, utilizada em duas configurações de uso, e da surdina de ébano menor com dois dentes separados.

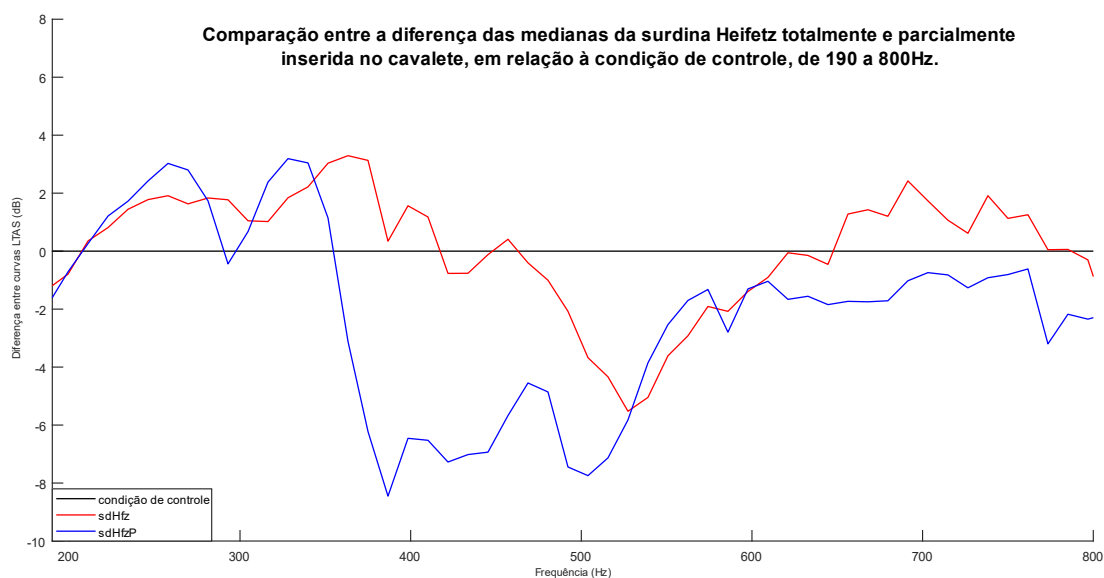


Esses resultados estão em sintonia com os observados com a surdina de ébano com apenas um dente analisados na variação anterior, indicando que a falta de acoplamento físico entre as extremidades laterais do cavalete (lado das cordas graves e lado das cordas agudas) induz a uma maior atenuação na corda Sol, ao mesmo tempo que leva a uma redução de intensidade muito menor na corda Mi.

4.4.2.2 Alteração da área de contato com o cavalete por meio de menor inserção dos dentes dos dispositivos no mesmo

Foram utilizadas duas surdinas (Heifetz e o abafador de metal leve com três dentes) para essa segunda subseção do *Estudo dois*, onde se compara cada uma delas com ela mesma, porém, mais ou menos inserida no cavalete.

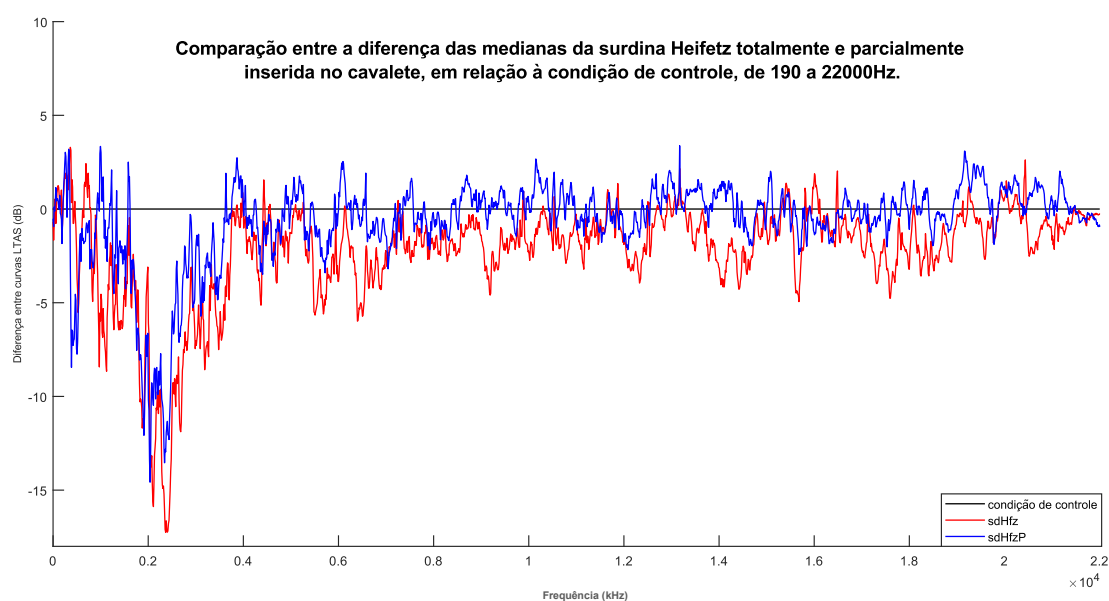
Gráfico 4.83 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete, de 190 a 800 Hz.



Nessa primeira variação, a surdina Heifetz, como se observa nos gráficos 4.83 e 4.84, gerou diferença significativa entre as curvas de diferença das medianas de LTAS, em relação à condição de controle, menos inserida no cavalete do que quando totalmente inserida, apenas entre 350 e 530 Hz, não tendo, também, gerado o pequeno ganho entre, aproximadamente, 620 e 780 Hz que o uso totalmente inserido provoca. Porém, na região do *bridge hill* e entorno as duas configurações de uso tiveram efeito bastante similar, com o dispositivo parcialmente colocado no cavalete tendo efeito mais discreto do que totalmente inserido a partir desse ponto, gerando mesmo alguns picos isolados de pequeno ganho em relação à condição de controle, sem grande

diferenciação nos perfis das duas condições de uso, afora essa diferença destacada. Interessante observar, também, que o uso dessa surdina em sua configuração parcialmente inserida no cavalete não atingiu coeficiente de correlação de 0,8 com ela mesma totalmente inserida, sendo uma das duas únicas condições de estudo a não atingirem esse coeficiente de correlação com nenhuma das outras condições de estudo analisadas na presente pesquisa.

Gráfico 4.84 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete, de 190 a 22.000 Hz.



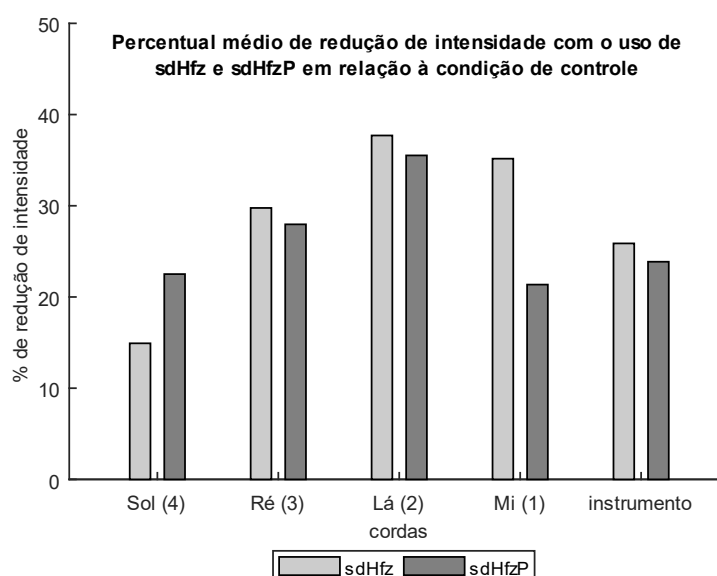
No quadro comparativo 4.9 os percentuais de participação do residual não harmônico das duas configurações de uso mostram redução dos mesmos em relação à condição de controle, sendo que a surdina parcialmente inserida apresentou os maiores índices em todas as cordas e no instrumento, o que sugere, como já observado anteriormente, que o dispositivo mais “solto” pode gerar mais interações não harmônicas com o cavalete ao vibrar de forma mais livre.

Quadro comparativo 4.9 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios da condição de controle, com o uso da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|--|--------|------|------|------|-------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdHfz | 0,38 | 0,35 | 3,11 | 4,45 | 0,44 |
| sdHfzP | 0,50 | 0,48 | 4,84 | 5,39 | 0,66 |

Em relação à intensidade (gráfico 4.85), nas cordas centrais a surdina Heifetz mais ou menos inserida apresentou um efeito similar, com o dispositivo menos inserido reduzindo a intensidade um pouco menos, de maneira proporcional à outra configuração de uso nessas duas cordas; porém, nas cordas Sol e Mi houve mudança significativa: a surdina parcialmente inserida atenuou o som mais na corda Sol e bem menos na corda Mi, do que quando totalmente inserida; no instrumento os dois valores ficaram bastante próximos, com a parcialmente inserida provocando atenuação um pouco mais fraca do que a do disposto totalmente colocado.

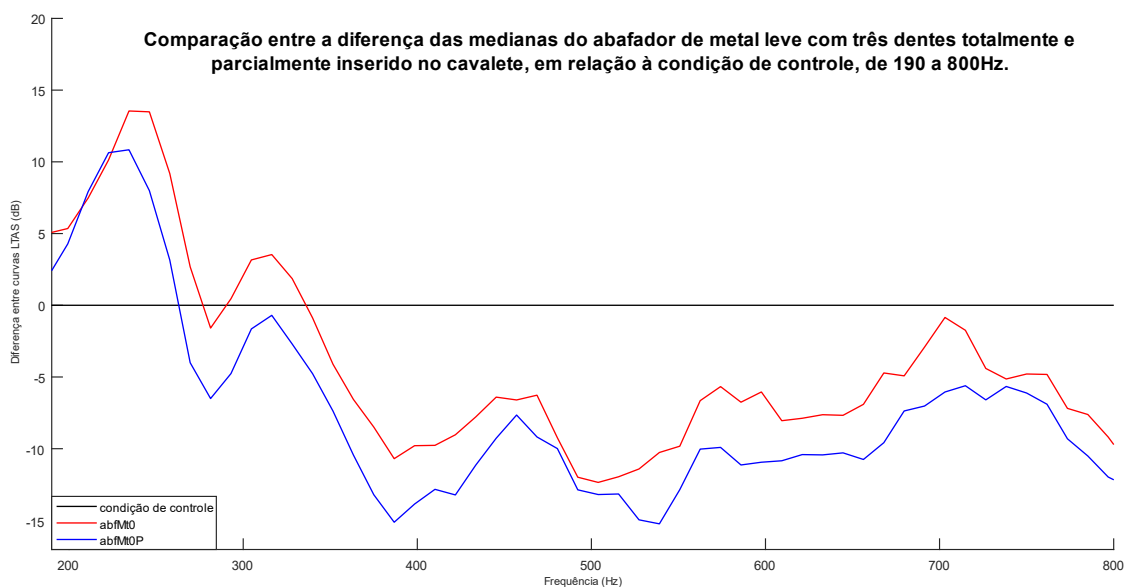
Gráfico 4.85 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina Heifetz total e parcialmente inserida no cavalete.



Na segunda variação dessa segunda subseção do *Estudo dois*, o abafador de metal leve com três dentes foi comparado quando parcialmente e totalmente inserido no cavalete, apresentando um baixo coeficiente de correlação, de 0,8 entre as duas configurações de uso.

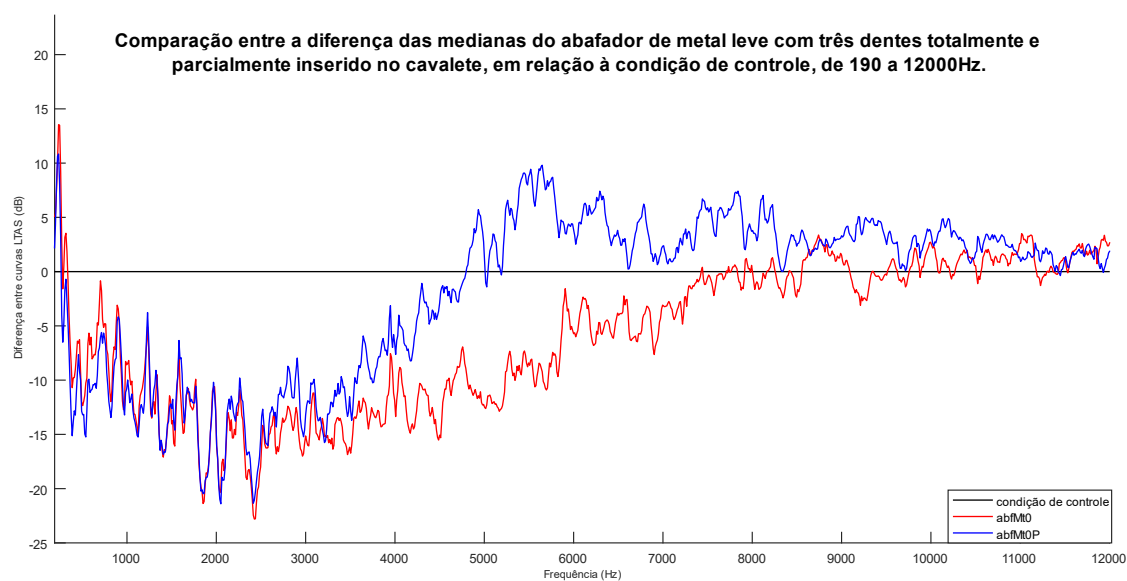
Observando-se o gráfico 4.86 percebe-se que os perfis das duas curvas de uso desse abafador são muito parecidos, na região grave do espectro, porém, a curva da inserção parcial no cavalete manteve-se sempre abaixo da do dispositivo totalmente inserido, gerando menor ganho de energia no começo do espectro e maior perda de energia a partir dos 360 Hz.

Gráfico 4.86 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete, de 190 a 800 Hz.



No gráfico 4.87, porém, as duas curvas apresentam um comportamento bastante distinto, a partir dos 3.200 Hz, ou seja, logo após a faixa do *bridge hill*, onde ainda se mantêm bastante próximas, separam-se, com o abafador parcialmente inserido apresentando um efeito menor, inicialmente com menor perda de energia, e depois com uma ampla faixa de ganho, a partir dos 5.000 Hz até os 11.800 Hz aproximadamente, em relação à condição de controle.

Gráfico 4.87 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete, de 190 a 12.000 Hz.



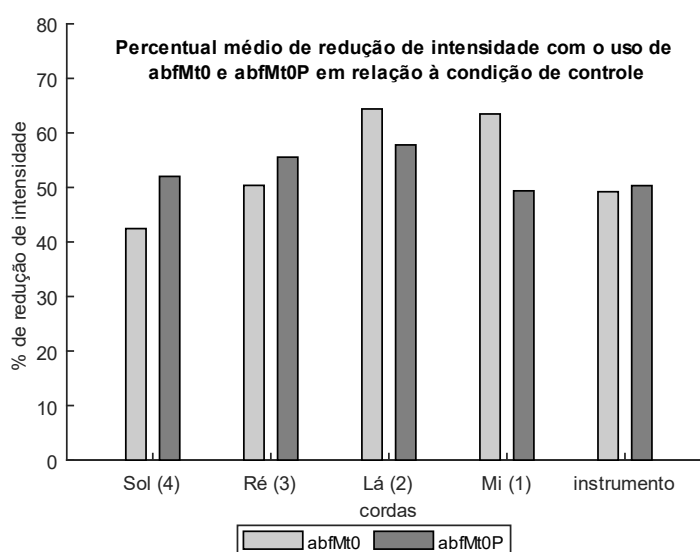
Em relação aos percentuais de participação do residual não harmônico (quadro comparativo 4.10), as duas configurações de uso mostram aumento dos mesmos em relação à condição de controle, sendo que o abafador parcialmente inserido gerou maiores índices nas cordas Lá e Mi e, principalmente, no instrumento, o que também pode ser considerado ligado à questão, já observada anteriormente, que as configurações de uso que deixam os dispositivos mais “soltos” podem, eventualmente, vibrar de forma mais livre, gerando maiores valores para esse descritor.

Quadro comparativo 4.10 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|--|--------|------|-------|-------|-------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| abfMt0 | 0,68 | 0,56 | 11,42 | 13,20 | 0,92 |
| abfMt0P | 0,66 | 0,93 | 8,86 | 14,75 | 1,62 |

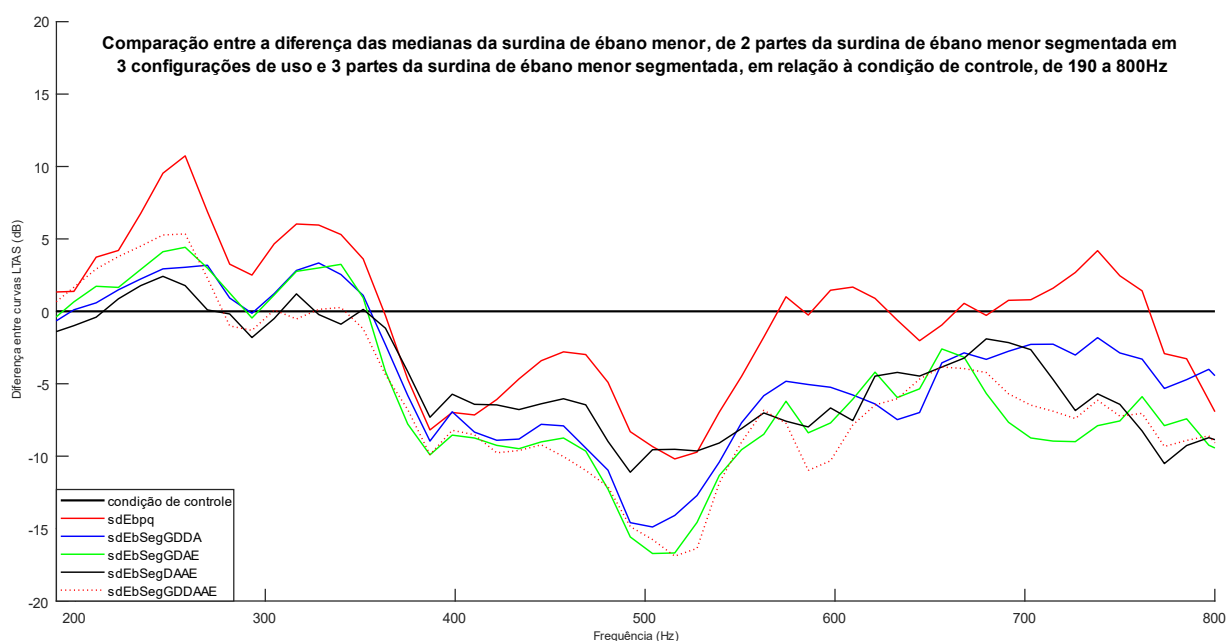
Em relação à atenuação (gráfico 4.88), as duas configurações de uso tiveram um efeito próximo, embora o dispositivo parcialmente inserido tenha reduzido a intensidade um pouco mais do que quando totalmente inserido, o que parece ter sido provocado pela maior atenuação que o uso parcial gerou nas cordas graves, em relação ao do totalmente inserido, que atenuou mais as cordas agudas.

Gráfico 4.88 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso do abafador de metal leve com três dentes total e parcialmente inserido no cavalete.



4.4.3 Análise dos resultados do Estudo três: diferentes configurações de uso de partes de um dispositivo segmentado

Gráfico 4.89 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e com três segmentos, de 190 a 800 Hz.



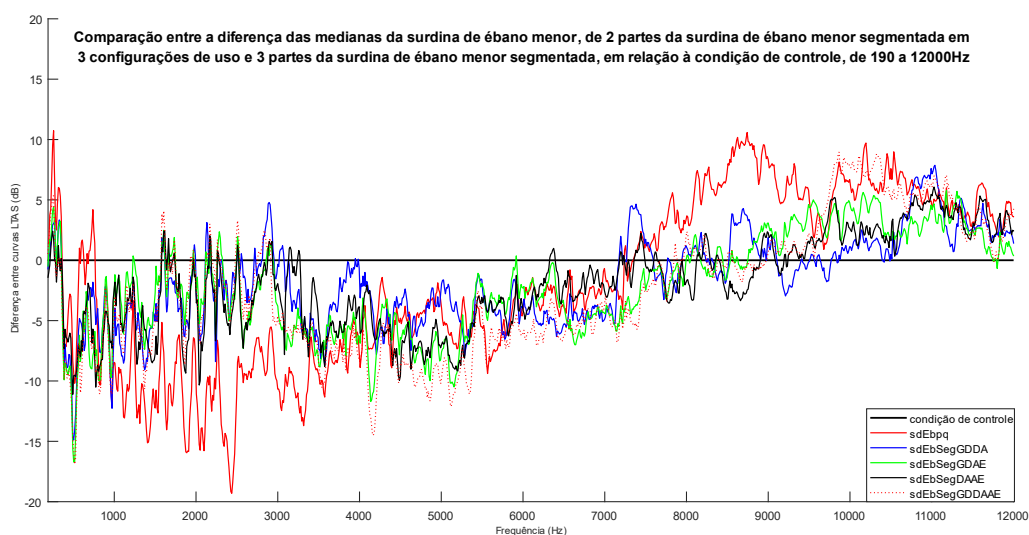
Nesse estudo são utilizadas partes da surdina de ébano segmentada em três dentes semelhantes, em diferentes configurações, com duas unidades em três posições de uso e com três unidades em uma única configuração de uso. A ideia aqui é avaliar os efeitos de mais de um dispositivo de mesmo tipo, cada um dos dentes segmentados tem as mesmas características (vide Fig. 3.21), podendo ser considerados como surdinas independentes, utilizadas ao mesmo tempo e, também, possibilitar a comparação dos efeitos do uso dessas partes com o dispositivo original inteiro.

Nenhuma das quatro configurações de uso com os segmentos atingiu coeficiente de correlação de pelo menos 0,8 com a surdina de ébano menor original, porém, entre elas mesmas todas indicaram correlação entre si: o uso de duas unidades entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá (sdEbSegGDDA) obteve 0,9 com o uso de duas unidades entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE), 0,88 com o uso de duas unidades entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE) e, também, 0,9 com o uso de três unidades entre os três pares de cordas adjacentes (sdEbSegGDDAAE); o uso de duas unidades entre as cordas Sol/Ré e Lá/Mi (sdEbSegGDAE) obteve 0,9 com o uso de duas unidades entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE) e 0,96 com o uso de três unidades entre os três pares de cordas

(sdEbSegGDDAAE); e, por fim, o uso de duas unidades entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi (sdEbSegDAAE) obteve 0,94 com o uso de três unidades entre os três pares de cordas (sdEbSegGDDAAE).

No gráfico 4.89 percebe-se, no ponto de maior pico de ganho nessa região do extremo grave do espectro, por volta dos 270 Hz, que o efeito de transferência de energia para frequências mais baixas, quando provocado por mais de um dispositivo independente, não teve a mesma amplitude do gerado por um único dispositivo com peso similar ao da soma dos segmentos, como é o caso do uso dos três dentes comparado com a surdina original. Embora os três segmentos somem 6 gramas, e a surdina original tenha 6,44 gramas, o ganho gerado pelo dispositivo inteiro foi consideravelmente superior ao dessa configuração de uso. Já as três configurações com dois dentes cada geraram níveis similares de transferência de energia (um pouco menos com o uso de sdEbSegDAAE), não muito inferiores aos da configuração com três dentes²⁰⁵. Esse resultado evidencia que, além do peso acrescentado ao sistema, a natureza do acoplamento com o cavalete possuiu um papel determinante na maneira como o mesmo reagirá a esse acréscimo de massa.

Gráfico 4.90 – Comparação entre a diferença das medianas da LTAS da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e com três segmentos, de 190 a 12.000 Hz.

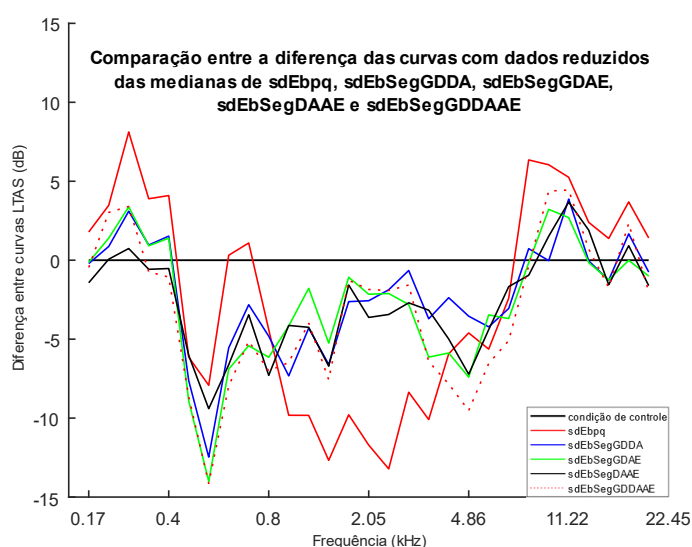


²⁰⁵ Interessante observar que na primeira variação da primeira subseção do *Estudo dois*, em que se utilizou uma surdina com apenas um dente, que porém preservou a parte superior da surdina de ébano menor original, o dispositivo ficou pesando 4,90 gramas, próximo, portanto, ao peso das configurações de uso com dois dentes segmentados (4 gramas), tendo esse dispositivo gerado, em suas três posições de uso, ganho de magnitude similar à observada com o uso dos dois segmentos, aqui discutido, porém, por volta dos 220 Hz, enquanto que, com os dois segmentos, em suas três configurações de uso, o maior ganho foi registrado em frequências um pouco mais altas, por volta de 250-80 Hz (vide gráfico 4.75).

Importante considerar que, eventualmente, podem ser criadas interações específicas entre diferentes pontos do próprio cavalete pelas ligações estabelecidas entre partes diferentes dessa peça pelo próprio corpo de uma surdina, quando há contato da mesma em mais de ponto do cavalete, o que, não ocorrendo com o uso de segmentos independentes, pode indicar uma explicação para os resultados diferentes obtidos pelo acréscimo de uma massa similar ao sistema.

Da mesma forma, quando se observa o gráfico 4.90, a região do *bridge hill* sofre alterações completamente diferentes com o uso das quatro configurações com dentes segmentados do que aquelas provocadas pela surdina original. Esse trecho, caracterizado por uma grande perda de energia gerado pelo uso dessa surdina de ébano, com o uso das combinações de segmentos foi muito menos impactado, havendo um pouco mais de perda de energia provocada pelas combinações de segmentos entre os 800 e os 1.800 Hz. Resultado em sintonia com as observações anteriores que apontam, também, para uma grande importância do tipo de acoplamento das surdinas com o cavalete para a definição de sua ação nessa faixa específica de particular interesse. É relevante, também, que na região entre os 8.000 e os 12.000, onde a surdina de ébano menor original gera uma típica zona de ganho de energia, o principal pico, na altura dos 9.000 Hz, não foi acompanhado por nenhuma das combinações de segmentos, havendo apenas uma região, entre os 10 e 12 kHz, na qual os segmentos geraram aumento de energia, inicialmente com a configuração de uso com os três dentes se aproximando do efeito da surdina original, e, no fim do trecho, também pelas com dois segmentos, havendo confluência das curvas das cinco condições de estudo comparadas aqui por volta de 11.300 Hz.

Gráfico 4.91 – Comparação entre a diferença das curvas com dados reduzidos de LTAS das medianas da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos.



No gráfico 4.91, no qual são apresentadas as diferenças das medianas de dados reduzidos de LTAS em relação à condição de controle, fica bastante evidenciada a diferença, na zona do *bridge hill*, entre a surdina original e as combinações com os segmentos, e, também, as similaridades entre as curvas das diferentes combinações de segmentos.

Quadro comparativo 4.11 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso da surdina de ébano menor e partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos.

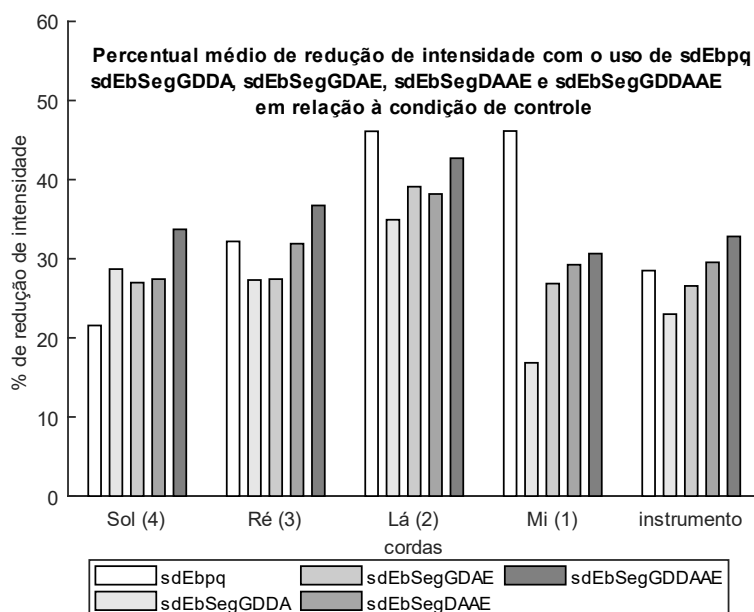
| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios por corda e do instrumento (%) | | | | | |
|---|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 0,68 | 0,46 | 1,98 | 4,02 | 0,71 |
| sdEbpbq | 0,32 | 0,36 | 5,77 | 6,57 | 0,48 |
| sdEbSegGDDA | 0,31 | 0,41 | 6,88 | 5,04 | 0,61 |
| sdEbSegGDAE | 0,39 | 0,45 | 5,91 | 5,67 | 0,66 |
| sdEbSegDAAE | 0,59 | 0,55 | 5,04 | 6,14 | 0,75 |
| sdEbSegGDDAAE | 0,52 | 0,60 | 6,09 | 5,14 | 0,83 |

Quanto ao percentual de participação do residual não harmônico, apresentado no quadro comparativo 4.11, em todas as combinações da surdina segmentada o mesmo foi maior do que o do dispositivo original, ficando abaixo, porém, dos valores da condição de controle em duas das configurações de uso com dois dentes, sdEbSegGDDA e sdEbSegDAAE, pouco acima da mesma com sdEbSegDAAE e, somente com o uso dos três segmentos (sdEbSegGDDAAE), razoavelmente superior, com uma participação de 0,83%, ou seja, ainda assim em patamares bastante próximos. O padrão de alteração em cada corda foi proporcional aos observados tanto na condição de controle quanto com o uso da surdina original. O pequeno aumento observado, eventualmente, pode ser atribuído à soma das contribuições isoladas de cada dispositivo, o que faz sentido diante do maior percentual produzido pelo uso dos três dentes simultaneamente.

O uso de partes segmentadas da surdina de ébano menor alterou os percentuais de redução de intensidade em relação à surdina original de diferentes formas, como pode ser observado no gráfico 4.92. O uso dos três segmentos e, ligeiramente, com um dos de dois segmentos (entre as cordas Ré/Lá e Lá/Mi) gerou uma atenuação maior do que a da surdina original na média do instrumento, o que pode ser relacionado à menor transferência de energia para as frequências graves e, também, à ausência de ganho na região dos 9 kHz; na corda Sol, todas as combinações

com segmentos atenuaram mais do que o dispositivo original, enquanto que nas cordas Lá e, principalmente, Mi, atenuaram bem menos que a surdina inteira, seguindo uma tendência observada nos dispositivos alterados com menos de dentes a partir da surdina de ébano menor original.

Gráfico 4.92 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso da surdina de ébano menor e de partes da surdina de ébano menor segmentada, em três configurações de uso com dois segmentos e uma com três segmentos.



4.5 Resumo com as diretrizes gerais observadas no funcionamento das surdinas

- o peso influencia diretamente, como principal fator, nas alterações da região grave do espectro (transferência de energia para frequências mais baixas²⁰⁶), sendo também afetado, moderadamente, pelo acoplamento com o cavalete;
- a natureza do acoplamento com o cavalete influencia especificamente no efeito provocado na zona do *bridge hill* e entorno;
- todas as surdinas e dispositivos derivados ou modificados, independentemente da configuração de uso, alteram significativamente, de alguma forma, a região do *bridge hill*, geralmente provocando perda de energia nessa faixa, podendo a mesma ocorrer, excepcionalmente, a até 1.500 Hz abaixo da frequência típica (3.000 Hz), com raros casos de picos de ganho ocasionais;

²⁰⁶ No caso de abafadores pesados esse efeito é diferenciado e será comentado oportunamente.

- o material de construção influencia ativamente na determinação da altura em que dispositivos que geram picos ou faixas de ganho na região aguda do espectro (de 5.000 a 12.000 Hz) produzem efeitos mais acentuados, e, também, na região super aguda (16.000 a 22.000 Hz);
- o acoplamento com o cavalete influencia, também, como segundo fator, na altura em que ocorrem picos ou faixas de ganho na região aguda do espectro (de 5.000 a 12.000 Hz);
- o peso, como fator principal, e a natureza do acoplamento com o cavalete, de forma secundária, afetam diretamente a atenuação média produzida pelos dispositivos no instrumento, e, também, no efeito específico em cada corda;
- nas surdinas de performance há forte tendência a que ocorra maior atenuação nas cordas agudas do que nas graves;
- o acoplamento com o cavalete está ligado à variação da atenuação entre as cordas do instrumento;
- as surdinas de estudo pesadas (mais de 30 gramas) não geram nenhuma transferência de energia para as baixas frequências, havendo grande perda de energia nessa faixa do espectro, efeito não descrito na literatura revisada;
- apenas as surdinas de estudo pesadas (mais de 30 gramas), que não deslocam energia para a região grave do espectro, alcançam percentuais de atenuação em relação à condição de controle superiores a 70%;
- as surdinas de performance tendem a reduzir o percentual de participação do residual não harmônico na sonoridade dos instrumentos, estando esse efeito relacionado à “suavização” do som do instrumento sob a ação das mesmas;
- as surdinas de estudo tendem a aumentar o percentual de participação do residual não harmônico na sonoridade dos instrumentos, ao reduzirem drasticamente a intensidade dos componentes harmônicos na sonoridade original do instrumento, sobretudo nos dispositivos pesados (mais de 30 gramas);

4.5.1 Considerações sobre a propriedade interativa das características físicas das surdinas

Um dos maiores desafios da presente pesquisa é, sem dúvida, isolar qual propriedade física de uma dada surdina produz determinado efeito, sendo constatado por meio da análise das surdinas originais e das *Prospecções* desenvolvidas, haver uma grande interatividade entre suas características físicas (peso, material de construção e acoplamento com o cavalete) na definição de seus efeitos.

Tal propriedade da ação das surdinas ficou bastante evidenciada pela análise de correlação realizada em relação à LTAS (vide tabela 4.33), onde se percebeu que dispositivos muito diferentes, eventualmente, podem gerar efeitos próximos. O caso mais emblemático nesse sentido é o do abafador preto de borracha (abfBor1), que atingiu coeficiente de correlação de 0,8 ou superior com nada menos que 12 outras condições de estudo (dentre 31), tendo sido a condição de estudo com maior número de interações com outras. Surdina pensada originalmente para prática, revelou em seus efeitos, porém, maior proximidade com dispositivos dirigidos à performance do que com outros abafadores, tendo atingido o maior coeficiente de correlação, de 0,92, com a surdina de ébano menor. Interessante observar que essas duas surdinas, aparentemente, são diferentes em tudo: uma é feita de madeira de alta densidade, a outra de borracha macia; uma possui três dentes rígidos, com uma área de contato relativamente pequena com o cavalete, a outra cinco dentes de borracha, sendo inserida totalmente sobre o cavalete, tocando-o em toda a sua extensão superior; a de madeira pesa 6,44 gramas, o abafador de borracha 7,6 gramas. Ainda assim, possuem grande proximidade de efeito, inclusive, em relação à atenuação, com a de ébano, ainda que mais leve, gerando um percentual de redução de intensidade ligeiramente superior (28,5% contra 27,6%). De alguma forma, a combinação de características físicas tão diferentes levou a efeitos similares produzidos pelos dois dispositivos, sendo um exemplo de uma situação amplamente observada na análise de correlação entre as diferentes condições de estudo. Da mesma forma, mais oito dispositivos apresentaram pelo menos nove correlações com outros dispositivos com coeficiente igual ou superior a 0,8.

Vale lembrar aqui a função de filtro acústico do cavalete (DONOSO et al., 2008)²⁰⁷, associada ao texto de Heller, quando ele pondera sobre “alterações não destrutivas”, a respeito de impedância e ressonâncias do cavalete (HELLER, 2013)²⁰⁸. Ao se aumentar o peso efetivo do cavalete, com o acoplamento de uma surdina, pode-se modificar tanto a impedância entre a corda e o tampo do instrumento quanto suas ressonâncias características, o que pode provocar alterações

²⁰⁷ Vide subseção 1.1.5.

²⁰⁸ Vide citação na página 114, na subseção 2.2.1.

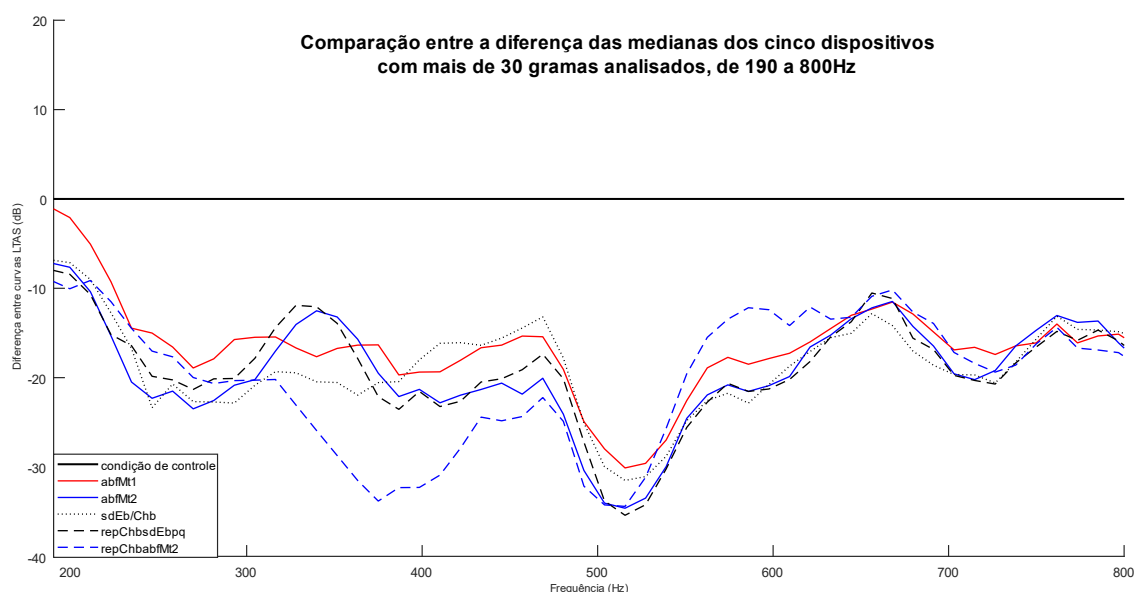
simultâneas na intensidade sonora produzida por cada corda e na resposta espectral geral do instrumento. A impedância entre o cavalete e a surdina, dependendo do material desta última e da forma de acoplamento, deve, também, ser levada em conta, já que modifica as propriedades físicas originais do cavalete. Também não se deve esquecer que diferentes materiais possuem rigidez própria, com potencial de criar ressonâncias locais que, por sua vez, irão influenciar o acoplamento entre as cordas, o cavalete e o tampo. A necessidade de ponderar, portanto, o diferente peso de determinada característica física de uma surdina em seus efeitos, deve ser sempre observada, num contexto que considere sempre os outros aspectos de construção do dispositivo, não sendo suficiente variar apenas uma determinada característica física, já que essa mudança pode gerar atuação diferente de um outro aspecto físico.

4.5.2 Considerações sobre a relação entre transferência de energia para as baixas frequências e a atenuação nas surdinas de estudo pesadas

Ao todo, cinco dispositivos com mais de 30 gramas foram analisados na presente pesquisa, como apresentado no quadro comparativo 4.12, onde estão organizados por ordem crescente de peso, com os respectivos efeitos de atenuação em relação à condição de controle, por corda e da média do instrumento.

Quando se observa as curvas das diferenças de suas medianas de LTAS em relação à condição de controle na região mais baixa do espectro (gráfico 4.93), percebe-se que nenhum desses dispositivos gerou transferência de energia espectral para frequências mais baixas, antes pelo contrário, todos provocaram grande perda de energia nessa região. É surpreendente a similaridade das cinco curvas, dada a enorme diferença de peso entre esses dispositivos: do mais leve, com 37,22 gramas ao mais pesado, com 168,5 gramas, há um aumento de 453% de massa. Esse resultado indica claramente que o característico efeito das surdinas de transferência de energia para as baixas frequências possuiu um limite de peso, além do qual deixa de ocorrer, mantendo-se níveis similares de perda de energia em relação à condição de controle, mesmo que se empregue dispositivos com pesos muito diferentes.

Gráfico 4.93 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso do abafador de metal pesado, do abafador de metal pesado revestido de borracha, da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo, e sua réplica integralmente feita de chumbo e da réplica de chumbo do abafador de metal pesado revestido de chumbo, em relação à condição de 190 a 800 Hz.



Importante observar que em outras faixas do espectro, há, eventualmente, ganho em relação à condição de controle, com o uso desses abafadores e réplicas de abafadores, notadamente na região super aguda, característica dos dispositivos metálicos, como foi amplamente comentado nas análises específicas de cada um (gráficos 4.59, 4.60, 4.70 e 4.73). Percebe-se, porém, uma clara relação entre a ausência de ganho na região grave e a atenuação. Todos esses dispositivos geraram redução de intensidade superior a 70%, enquanto que o maior índice registrado fora esses, obtido pelo dispositivo mais pesado depois desses cinco com mais de 30 gramas, o abafador de metal leve, que pesa 15,55 gramas, limitou-se a 49,21% em relação à condição de controle. E como se pode verificar nos gráficos 4.58 e 4.86, ele gerou transferência de energia para frequências mais baixas, mesmo quando parcialmente inserido no cavalete. O mesmo ocorrendo com todos os outros dispositivos analisados em que, ainda que pouca, há alguma faixa ou pico de ganho, abaixo de 800 Hz, além de ocorrer, relativamente, pouca perda de energia no geral. Ao que tudo indica, o corte de energia na porção grave do espectro tem efeito decisivo na atenuação geral da intensidade.

Em relação ainda à atenuação, chama a atenção, também, a pouca variação desse efeito, frente à grande mudança no peso acrescentado ao cavalete: o dispositivo mais leve dos cinco produziu uma perda de intensidade de 70% contra 81% do mais pesado, o que é bastante desproporcional diante de uma variação de 453% de massa, podendo ser o mesmo efeito observado entre os dois abafadores de metal originais, como já comentado. Esses dados indicam que há, também, um limite de peso para o efeito de atenuação, além do qual a mudança é relativamente

pouca e desproporcional, devendo-se considerar ainda que outros fatores, como o tipo de acoplamento com o cavalete, podem influenciar nesse efeito, como exemplifica bem a réplica de chumbo da surdina de ébano menor (repChbsdEbpq), que atenuou a intensidade menos do que os abafadores de metal pesado (abfMt1 e abfMt2), apesar de ser bem mais pesada do que eles, situação similar à já comentada anteriormente na análise das surdinas originais (gráfico 4.48), confirmando que o peso não é a única característica física a definir esse efeito.

Quadro comparativo 4.12 – Comparação entre os percentuais de redução de intensidade, em relação à condição de controle, com o uso da surdina de ébano menor parcialmente enxertada com chumbo, do abafador de metal pesado, do abafador de metal pesado revestido de borracha, da réplica integralmente feita de chumbo da surdina de ébano menor e da réplica de chumbo do abafador de metal pesado revestido de borracha.

| Média dos percentuais de redução de intensidade, em relação à condição de controle, dos cinco dispositivos com mais de 30 gramas de peso analisados (%) | | | | | | |
|--|---------------|--------|-------|-------|-------|-------------|
| condições de estudo | peso (gramas) | cordas | | | | instrumento |
| | | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| sdEb/Chb | 37,22g | 77,37 | 76,06 | 65,78 | 57,17 | 70,03 |
| abfMt1 | 44,90g | 77,87 | 78,96 | 77,21 | 73,30 | 76,37 |
| abfMt2 | 58,65g | 80,51 | 81,59 | 79,01 | 73,60 | 78,32 |
| repChbsdEbpq | 70,30g | 75,84 | 77,21 | 73,54 | 69,26 | 74,13 |
| repChbabfMt2 | 168,50g | 82,96 | 82,19 | 81,42 | 78,52 | 81,38 |

Foi observada ainda uma clara tendência ao maior equilíbrio de atenuação entre as cordas, proporcional ao maior peso acrescentado, além das cordas graves passarem a sofrer, progressivamente, perda de intensidade ligeiramente superior às agudas, em situação inversa à registrada com as surdinas de performance, onde há, geralmente, grande variação de atenuação entre as cordas, com as agudas sendo mais afetadas.

Como comentado anteriormente, desde a revisão bibliográfica, não foram localizadas pesquisas específicas que descrevam essas características espectrais próprias de surdinas pesadas (em relação à sua ação nas baixas frequências especificamente), e nem que discutam a relação entre a energia espectral nas baixas frequências e o efeito de atenuação geral, não obstante a ampla utilização desse tipo de surdina em todos os instrumentos de arco modernos.

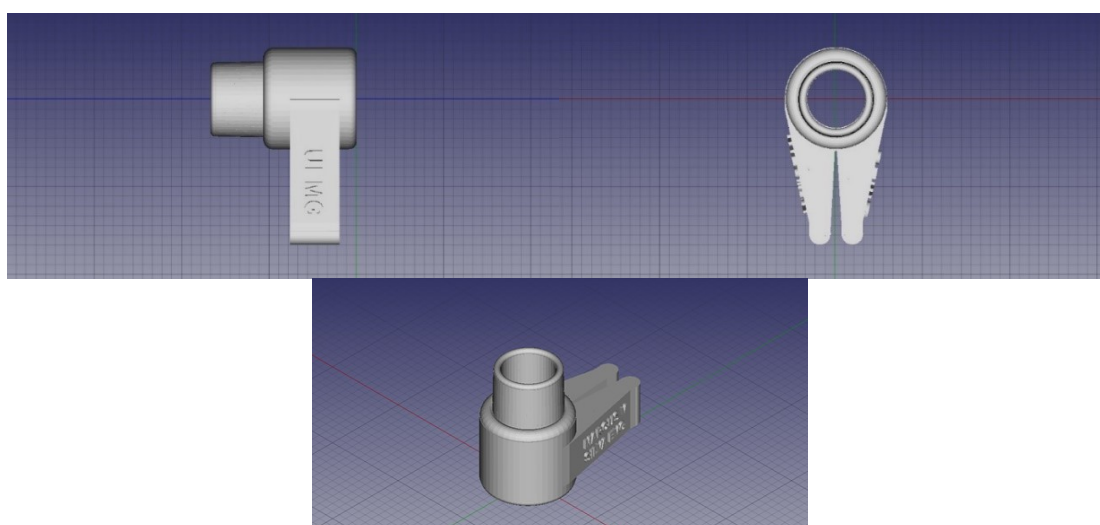
PARTE III: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SURDINA MODULAR MULTIFUNCIONAL

5 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

A proposta da *Surdina Modular Multifuncional para Violino* é baseada no desenvolvimento de um dispositivo que tenha como conceito a possibilidade de variação de sua estrutura física por meio de diferentes montagens e configurações de uso, permitindo, assim, a exploração de uma gama variada de efeitos. Concebido dentro do contexto da presente pesquisa, *na qual se constatou que todos os aspectos físicos das surdinas interagem entre si na definição de seus efeitos*, o dispositivo desenvolvido, de caráter inicialmente exploratório, demonstrou potencial para uso efetivo como surdina de performance ou de estudo, dependendo de sua montagem.

Constituído por módulos que podem ser acoplados uns nos outros, pode ser usada, em princípio, com uma, duas ou três unidades²⁰⁹ (Fig. 5.6). Cada módulo é constituído por dois tubos ocios unidos, de diâmetros diferentes, cuja parte de diâmetro menor é levemente cônica, encaixando na parte de diâmetro maior de outro módulo similar. São acrescentados a cada uma dessas estruturas tubulares dois dentes com um vão triangular entre os mesmos para permitir o encaixe de cada módulo no topo do cavalete do violino, como pode ser visto nas ilustrações da figura 5.1 e no esquema representado na figura 5.2 com as medidas do dispositivo.

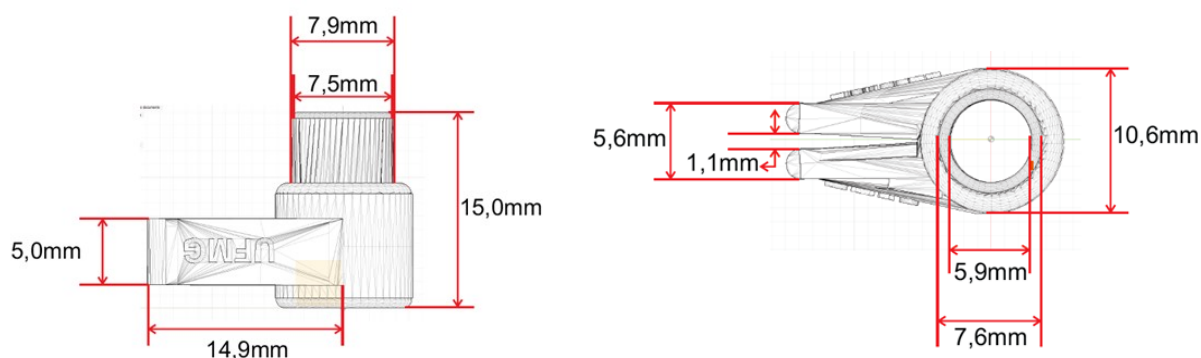
Figura 5.1 – Ilustração com diferentes ângulos de visão de uma unidade da surdina modular multifuncional.



(fonte: imagem própria)

²⁰⁹ É possível o acoplamento ainda de mais unidades, pelo menos mais duas, uma para cada lado do cavalete, que, entretanto, não entrariam em contato com o mesmo, não deixando, porém, de acrescentar massa ao sistema.

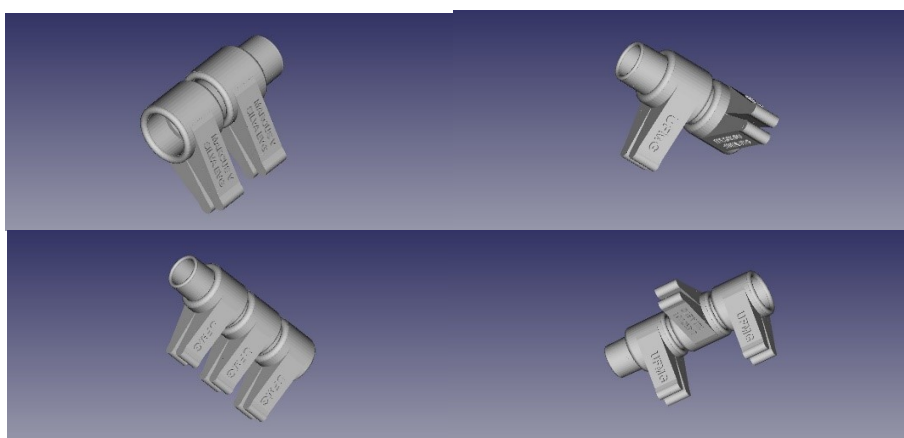
Figura 5.2 – Desenho técnico com as dimensões de um módulo da surdina modular multifuncional.



(fonte: desenho técnico de Marcelo Monteiro Menezes)

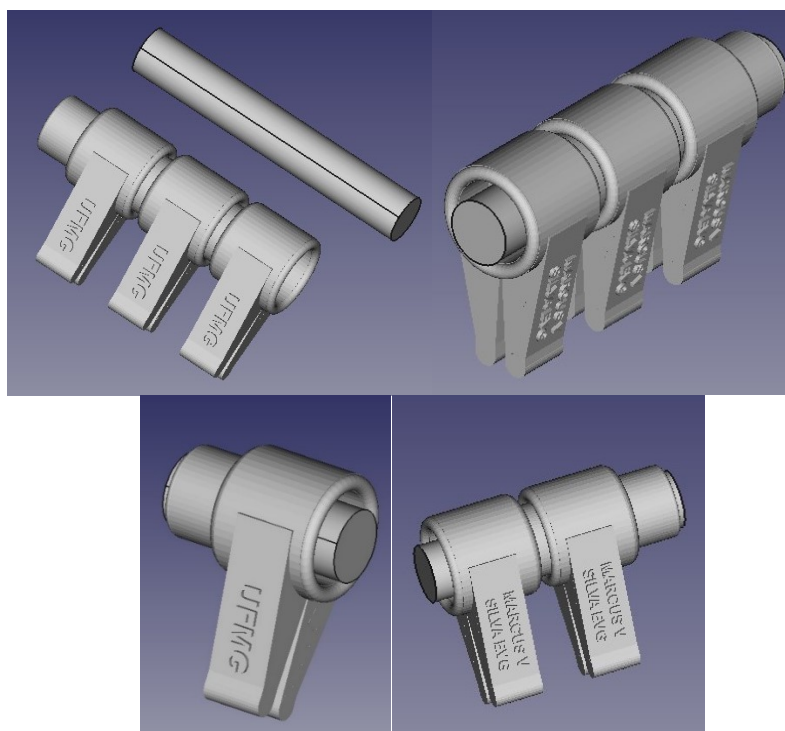
Como os módulos podem ser acoplados com os dentes em diferentes posições de alinhamento, são possíveis montagens com duas ou três unidades em que um número variável de dentes entre em contato com o cavalete, como ilustrado na figura 5.3.

Figura 5.3 – Ilustração de montagens com dois e três módulos com diferentes alinhamentos dos dentes para acoplamentos variados com o cavalete da surdina modular multifuncional.



O tubo oco central dos módulos, independentemente da quantidade de unidades montadas, pode ser preenchido com cilindros com os comprimentos ajustados para o uso com diferentes números de módulos acoplados, como mostram as ilustrações da figura 5.4. Esses cilindros (maciços ou não) podem ser feitos de diferentes materiais, ampliando ainda mais as possibilidades de variação da surdina modular, em relação à massa (peso final dos dispositivos montados em diferentes configurações) e, também, quanto às diferentes propriedades de ressonância que os diferentes materiais possuem.

Figura 5.4 – Ilustração de um cilindro de preenchimento interno com comprimento para uso em montagens em três unidades, fora e colocado dentro da surdina, e montagens com um e dois módulos com cilindros de preenchimento colocados nos dutos internos.



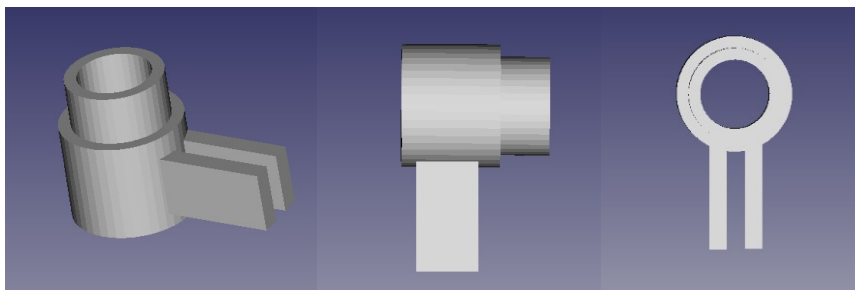
(fonte: imagem própria)

Há uma enorme variedade de materiais que pode ser utilizada na confecção dos módulos, que vão desde diversos tipos de resina a diferentes metais, borrachas e outros compostos e, até mesmo, madeira. Foram confeccionados inicialmente, porém, para as primeiras avaliações, apenas módulos feitos em resina para impressão 3D²¹⁰ e fundidos em latão (Fig. 5.6), que são intercambiáveis, ou seja, é possível a montagem de um dispositivo com unidades dos dois materiais. A escolha pela resina impressa deveu-se principalmente à praticidade de produção e baixo custo para o desenvolvimento da peça, tendo sido feitos vários protótipos de teste até chegar-se à forma final para essa fase do projeto. A resina impressa escolhida mostrou-se eficiente para uma primeira avaliação da funcionalidade e dos efeitos do dispositivo, embora não seja a melhor opção para uma eventual produção comercial do dispositivo, dadas suas características específicas de resistência e elasticidade que tornam seu emprego limitado para as necessidades de uso do dispositivo. A versão em latão fundido (Fig. 5.6) foi feita a partir de uma matriz específica confeccionada, também, em resina impressa em 3D, havendo diferenças nos pés da peça, devido à flexibilidade natural do metal que exigiu mudanças no formato dos mesmos para melhor ajuste

²¹⁰ Resina Quanton 3D Iron 70/30 CLEAN, composta por 70% de Iron e 30% de Low Smell (respectivamente resinas de maior e menor durezas), tem como principal característica a alta resistência aliada ao elevado nível de detalhes obtidos nas impressões.

ao topo do cavalete (Fig. 5.5). Como materiais utilizados para a confecção dos cilindros de preenchimento interno, inicialmente, foram escolhidos a borracha, o ébano e o chumbo.

Figura 5.5 – Ilustração com diferentes ângulos de visão de uma unidade da surdina modular multifuncional adaptada para ser produzida em metal, sendo os pés do módulo modificados para esse fim.



(fonte: imagem própria)

Embora o protótipo apresentado aqui ainda esteja em fase de desenvolvimento e testes, a ideia de produzir algum tipo de surdina com grande flexibilidade de montagem mostrou-se totalmente viável. Não foi encontrado disponibilizado para venda, e mesmo relatado dentre as patentes relacionadas na subseção que trata do *Estado da Técnica* (2.3), nenhum tipo de surdina com tais características. Há dispositivos com duas posições de uso, que permitem apenas essa variação, e um ou outro mecanismo, geralmente de funcionalidade duvidosa, que propõe mais algumas opções de variação da surdina e seus efeitos, mas, nada similar à ideia de uma surdina modular multifuncional com tamanha flexibilidade de montagem, como a apresentada aqui²¹¹. Diferentes montagens e configurações de uso podem ser utilizadas para efeitos distintos em performance, combinando, eventualmente, módulos feitos com diferentes materiais e/ou os cilindros de preenchimento interno; além disso, a utilização de mais de um módulo de metal acoplados permite empregar a surdina multifuncional como um abafador (surdina de estudo), com diferentes graus de atenuação, chegando, com o uso de três unidades de metal com preenchimento do duto interno por cilindro de chumbo, a atingir o peso de uma surdina de estudo pesada.

Figura 5.6 – Imagens, em tamanho real, de montagens com um, dois e três unidades de resina impressa em 3D e com uma e três unidades de metal da surdina modular multifuncional.

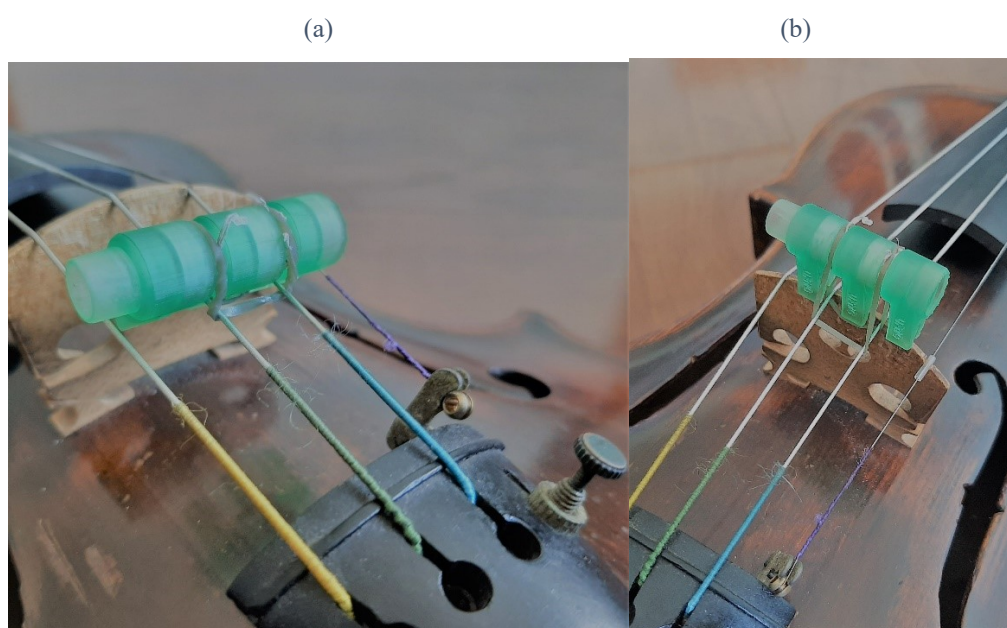


(fonte: imagem própria)

²¹¹ Dada a eventual originalidade da concepção da surdina modular multifuncional e da viabilidade da criação de um produto comercial a partir do protótipo desenvolvido, está em processo de avaliação na Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica (CTIT), Núcleo de Inovação da UFMG, o registro de uma patente da mesma.

Há várias questões ainda pendentes, relativas à definição dos melhores materiais para confecção, peso ideal de cada módulo, processos de produção, ajustes no mecanismo de encaixe dos módulos entre si e do acoplamento com o cavalete, que ainda estão em avaliação, que impedem, portanto, que o desenvolvimento do protótipo possa ser considerado finalizado, embora já tenha alcançado um nível de funcionalidade que permite uma avaliação preliminar e demonstrações de uso real²¹². O próprio design do módulo ainda pode ser alterado para incluir alguma espécie de mecanismo que permita a manutenção do dispositivo no instrumento, quando em repouso, entre o cavalete e o estandarte, a exemplo de vários tipos de surdinas comercializadas atualmente, sendo essa uma característica (praticidade de uso) de grande relevância para a utilização real em performance. Provisoriamente, a fixação às cordas, entre o cavalete e o estandarte, de montagens com pelo menos dois módulos, utilizando elástico, atendeu parcialmente a essa necessidade, não sendo, porém, considerada ainda a única ou melhor solução para essa questão (Fig. 5.7).

Figura 5.7 – Imagens de uma montagem com três unidades de resina impressa em 3D da surdina modular multifuncional utilizando um elástico para fixação às cordas, permitindo que seja mantida no instrumento em (a) posição de repouso, entre o cavalete e o estandarte, e (b) em posição de uso com o elástico de fixação.



(fonte: imagem própria)

²¹² Várias questões relativas ao encaixe dos módulos, ajustes dos cilindros de preenchimento interno e outros problemas foram resolvidos provisoriamente de forma artesanal e improvisada, como, por exemplo, o uso de fita vedarrosca de emprego em instalações hidráulicas para ajustar o encaixe das peças, fixando-as e impedindo vibrações indesejáveis durante o uso, permitindo assim uma avaliação preliminar do desempenho do dispositivo.

5.1 Avaliação preliminar de algumas configurações de uso da surdina modular multifuncional

Como apresentação da funcionalidade do protótipo, no ponto de desenvolvimento em que o mesmo se encontra, algumas de suas configurações de uso possíveis, com módulos de resina impressa e de latão, preenchidas ou não com cilindros de borracha, ébano e chumbo (imagens de algumas delas nas figuras 5.8 a 5.13) foram submetidas a uma avaliação preliminar que empregou a mesma metodologia desenvolvida para a segunda parte da pesquisa. Foi utilizado na amostragem, porém, apenas um violino (vln2) e ela foi registrada por somente dois sujeitos²¹³, com a gravação de dois *takes* por cada um dos executantes para cada condição de estudo apresentada (uma amostra iniciada com o arco para baixo e a outra iniciada com o arco para cima), ou seja, cada condição de estudo contou com quatro amostras que foram tratadas com os mesmos procedimentos de análise descritos na *Parte II* do trabalho. Ao todo foram registradas 21 condições de estudo com os protótipos²¹⁴, cujos resultados são apresentados na subseção seguinte, devendo os mesmos serem considerados, apenas, como uma avaliação preliminar do funcionamento de diferentes montagens da surdina modular multifuncional, que visam, sobretudo, ilustrar como as várias configurações de uso amostradas geram efeitos distintos na sonoridade do violino, claramente diferenciadas pelos descritores acústicos empregados na análise dos efeitos das surdinas na presente pesquisa.

Foi realizada, também, uma *Demonstração em performance artística da surdina modular multifuncional*, no dia da defesa de tese, para a banca examinadora e demais ouvintes, na qual foram empregadas diferentes configurações do protótipo em uma interpretação dos duetos 7, 10, 16, 22, 23 e 35 da obra *44 Duos for Two Violins*, Sz. 98, BB 104, composta em 1931 pelo compositor húngaro Béla Bartók (1881-1945). Embora em apenas um dos duetos citados, o número 22 (*mosquito dance*), o compositor demande originalmente a utilização de surdinas, a natureza variada dessa obra, composta originalmente com caráter didático, mostrou-se adequada para a demonstração das diferentes sonoridades que podem ser obtidas com as distintas configurações da surdina multifuncional. Os duetos foram executados por Antônio Dimas

²¹³ Um dos executantes participou também da amostragem utilizada na segunda parte do trabalho e o outro é o próprio autor da pesquisa.

²¹⁴ Foram gravados ainda, mais um *take* por cada um dos executantes, sem surdina, que foram empregados como condição de controle para as amostras com o uso dos protótipos, pois, havendo já muitos meses desde a realização da primeira amostragem empregada na *Parte II* do trabalho (a gravação com os protótipos foi realizada entre os dias 19 e 24 de julho de 2023), as cordas do instrumento já haviam sofrido demasiado desgaste, apresentando um desempenho diferente do anterior, o que poderia gerar distorções nos resultados, se a condição de controle anteriormente utilizada fosse empregada com essa nova amostragem.

Generoso e Maicon Alexandre Pereira Barbosa²¹⁵, que participaram também como executantes das amostragens empregadas na *Parte II* da pesquisa. A apresentação contou, também, com uma segunda parte, para a qual o professor Ayran Nicodemo²¹⁶ (que já havia, também, atuado na pesquisa como amostrador) colaborou com a composição de uma peça criada especificamente para a *Demonstração em performance artística*. Intitulada *Na surdina – para violino só*, a peça apresenta variações de um tema que procuram explorar a sonoridade específica de cada corda do instrumento em suas diferentes tessituras, além de empregar uma variada gama de articulações e golpes de arco, alternando execuções sem surdina e com diferentes configurações da surdina modular multifuncional. O programa completo dessa apresentação encontra-se descrito no *Apêndice C*, com as respectivas configurações da surdina modular multifuncional empregadas em cada peça, além de um link²¹⁷ para acesso ao registro da *Demonstração*.

No quadro comparativo 5.1 são discriminados os percentuais de participação do residual não harmônico de todas as configurações de estudo amostradas com os protótipos, por corda e de todo o instrumento. Esses resultados foram condizentes com as demais análises realizadas na pesquisa, com as surdinas maias leves tendendo a reduzir o residual não harmônico enquanto que as mais pesadas o aumentam²¹⁸. Na sequência são apresentados gráficos comparativos entre as diferenças das medianas de LTAS e de redução de intensidade em relação à condição de controle de algumas configurações correlatas, acompanhados de comentários sucintos que relacionam os resultados à análise dos efeitos das surdinas empreendida na *Parte II* da pesquisa.

²¹⁵ Ambos os violinistas são graduandos do Curso de Música, bacharelado em violino, da Escola de Música da UFMG, alunos do Professor Ayran Nicodemo.

²¹⁶ Professor Titular de violino da Escola de Música da UFMG.

²¹⁷ <https://musica.ufmg.br/lapis/demonstracao-em-performance-artistica-da-surdina-modular-multifuncional/>

²¹⁸ Foram apresentados os percentuais da condição de controle gravada especificamente para a amostragem dos protótipos, que registrou um valor incomum para a corda Sol (maior do que das cordas Ré e Lá), não tendo tal situação, porém, perdurado nas demais condições de estudo, tendo ocorrido apenas em mais uma condição, sendo, portanto, considerada uma ocorrência isolada, compreensível diante do pequeno número de amostras empregado nesse caso.

Quadro comparativo 5.1 – Comparação entre os percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios com o uso de diferentes configurações da surdina modular multifuncional.

| Média dos percentuais de participação do residual não harmônico na ressíntese integral dos áudios (%) | | | | | |
|--|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| condições de estudo | cordas | | | | instrumento |
| | Sol | Ré | Lá | Mi | |
| condição de controle | 1,97 | 0,58 | 1,36 | 3,31 | 0,81 |
| configurações com um módulo de resina sem e com preenchimento | | | | | |
| sdMd1RsGD | 2,91 | 0,75 | 2,25 | 5,80 | 0,74 |
| sdMd1RsDA | 2,75 | 0,61 | 4,28 | 6,61 | 0,72 |
| sdMd1RsAE | 1,94 | 0,70 | 2,31 | 6,70 | 0,78 |
| sdMd1RsDA-Bor | 0,84 | 0,91 | 3,64 | 2,87 | 0,83 |
| configurações com dois módulos de resina sem preenchimento | | | | | |
| sdMd2RsGDDA | 1,46 | 0,98 | 5,18 | 8,14 | 1,14 |
| sdMd2RsDAAE | 1,44 | 1,00 | 4,27 | 5,15 | 0,92 |
| configurações com três módulos de resina sem preenchimento | | | | | |
| sdMd3RsGDDAAE | 0,88 | 0,66 | 4,35 | 5,75 | 0,86 |
| sdMd3RsGDAE | 1,09 | 0,83 | 5,68 | 7,75 | 0,91 |
| sdMd3RsDA | 0,69 | 1,08 | 8,23 | 10,67 | 1,17 |
| configurações com três módulos de resina com preenchimento | | | | | |
| sdMd3RsGDDAAE-Bor | 0,62 | 0,55 | 5,53 | 7,81 | 0,72 |
| sdMd3RsGDDAAE-Eb | 0,40 | 0,52 | 6,93 | 6,08 | 0,63 |
| sdMd3RsGDDAAE-Chb | 1,00 | 3,28 | 7,07 | 14,59 | 2,49 |
| configurações com um módulo de metal sem preenchimento | | | | | |
| sdMd1MtGD | 0,36 | 0,67 | 5,90 | 5,26 | 0,58 |
| sdMd1MtDA | 0,38 | 0,75 | 6,68 | 7,53 | 0,71 |
| sdMd1MtAE | 0,40 | 0,65 | 4,69 | 6,87 | 0,66 |
| configurações com três módulos de metal sem preenchimento | | | | | |
| sdMd3MtGDDAAE | 1,04 | 3,27 | 7,23 | 24,42 | 2,26 |
| sdMd3RsGDAE | 0,86 | 2,40 | 6,35 | 22,00 | 1,79 |
| configurações com três módulos de metal com preenchimento | | | | | |
| sdMd3MtGDDAAE-Bor | 1,08 | 2,40 | 8,28 | 29,26 | 2,22 |
| sdMd3MtGDDAAE-Chb | 4,11 | 8,23 | 7,68 | 13,51 | 6,38 |
| configurações com dois módulos de resina e um de metal intercalado sem e com preenchimento | | | | | |
| sdMd1Rs1Mt1RsGDAE | 0,50 | 0,72 | 5,70 | 15,46 | 0,73 |
| sdMd1Rs1Mt1RsGDAE-Eb | 0,61 | 1,00 | 8,47 | 12,80 | 1,04 |

5.1.1 Configurações com um módulo de resina

Características físicas:

- material de construção: resina Quanton 3D Iron 70/30 CLEAN;
- medidas: 1,5 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 1,04 gramas;

5.1.1.1 Sem preenchimento (1,04 gramas)

Figura 5.8 – Configuração com um módulo em resina do protótipo em três posições de uso.



(fonte: imagem própria)

Gráfico 5.1 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

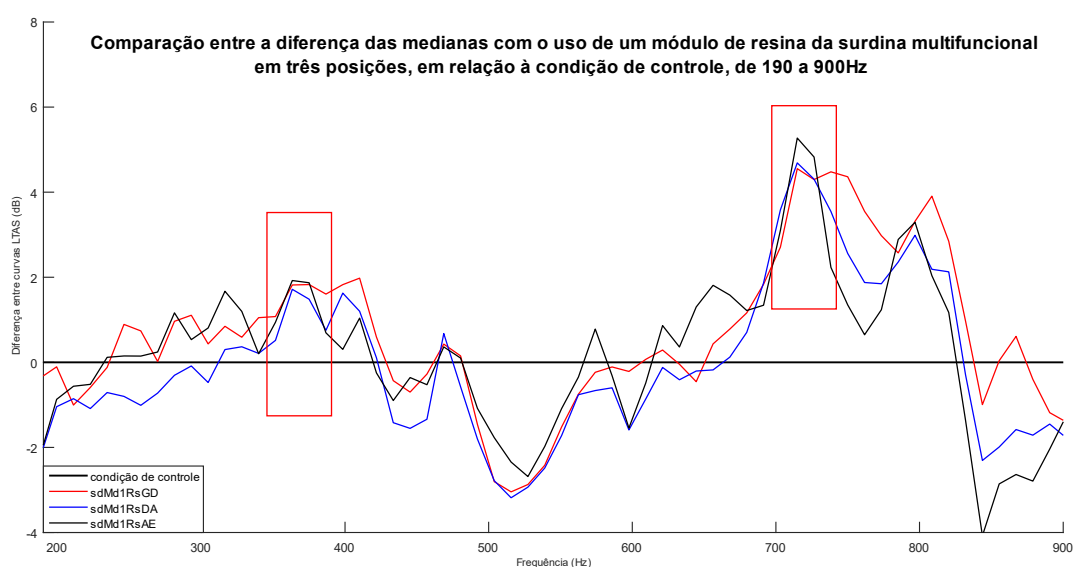


Gráfico 5.2 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 8.000 Hz.

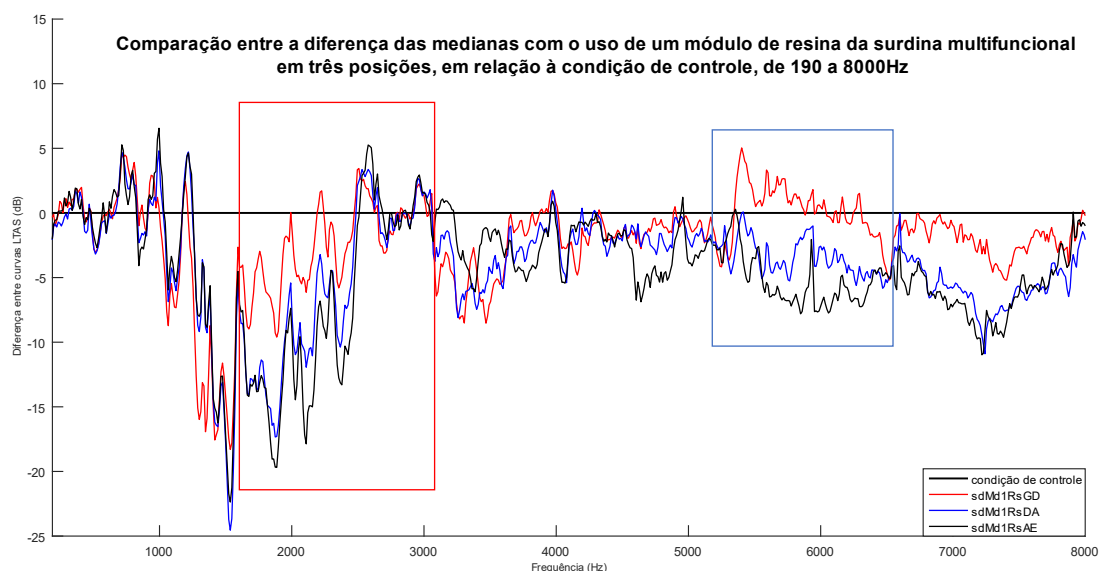
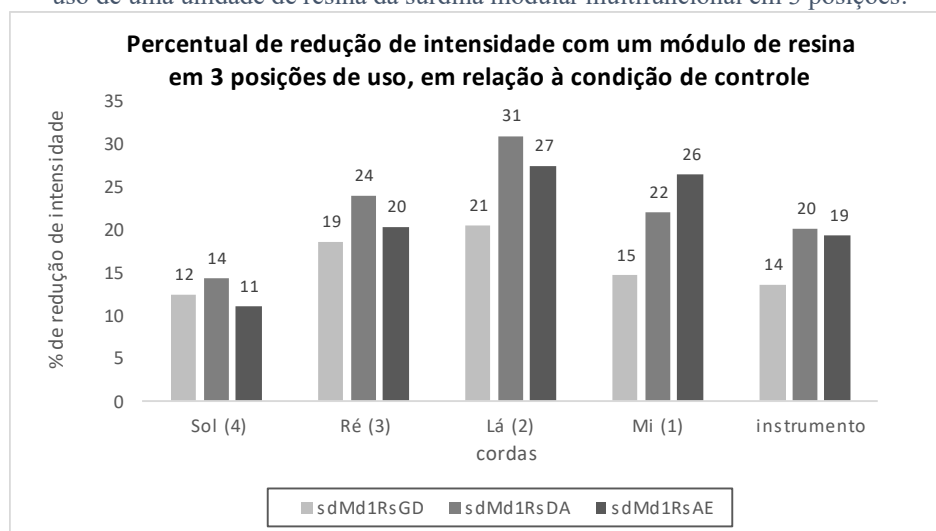


Gráfico 5.3 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional em 3 posições.



❖ Observações gerais:

- embora com alguma oscilação das curvas de LTAS, o uso em três posições apresentou os dois maiores pontos de ganho em comum, em duas regiões, em torno a 380 e 720 Hz, com muito maior intensidade nesse segundo (destaques em vermelho no gráfico 5.1), coerentemente com a não variação de peso;
- as três posições de uso apresentaram perda de energia significativa a partir dos 2.600 Hz em direção ao grave até por volta dos 1.000 Hz, com um comportamento diferenciado da

posição de uso entre as cordas Sol/Ré, que gerou menos perda que as outras duas posições em parte desse trecho, efeito que pode ser relacionado à diferença dos pontos de acoplamento, embora, mais próximo à região do *bridge hill*, as curvas das três posições praticamente se sobrepõem em dois picos isolados de ganho (destaque em vermelho do gráfico 5.2);

- a posição entre as cordas Sol/Ré, também, gerou entre 5.200 a 8.000 Hz um comportamento diferenciado em relação às outras duas posições de uso, cujos contornos permaneceram próximos, com uma zona de ganho no trecho inicial dessa região (destaque em azul do gráfico 5.2), o que também pode ser relacionado às diferentes posições de acoplamento;
- o uso de um módulo de resina gerou um efeito de atenuação relativamente fraco, o que é coerente com seu pouco peso. Na média do instrumento a posição de uso central gerou maior atenuação (20%), seguida pela posição entre as cordas Lá/Mi (19%) e, por último, a posição entre Sol/Ré (14%); em relação à diferença de atenuação entre as cordas, as duas posições de uso dos extremos apresentaram a mesma tendência, com maior atenuação na corda Lá, seguida pela Mi, depois Ré e, com a menor atenuação, a corda Sol; já a posição de uso central gerou maior atenuação na corda Lá, seguida da Ré, depois Mi e, também com menor atenuação, a Sol (gráfico 5.3);

5.1.1.2 Com preenchimento de borracha (1,54 gramas)

Características físicas do cilindro de preenchimento:

- material de construção: borracha sintética;
- medidas: 1,5 cm x 0,55 cm;
- peso: 0,50 gramas;

Gráfico 5.4 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

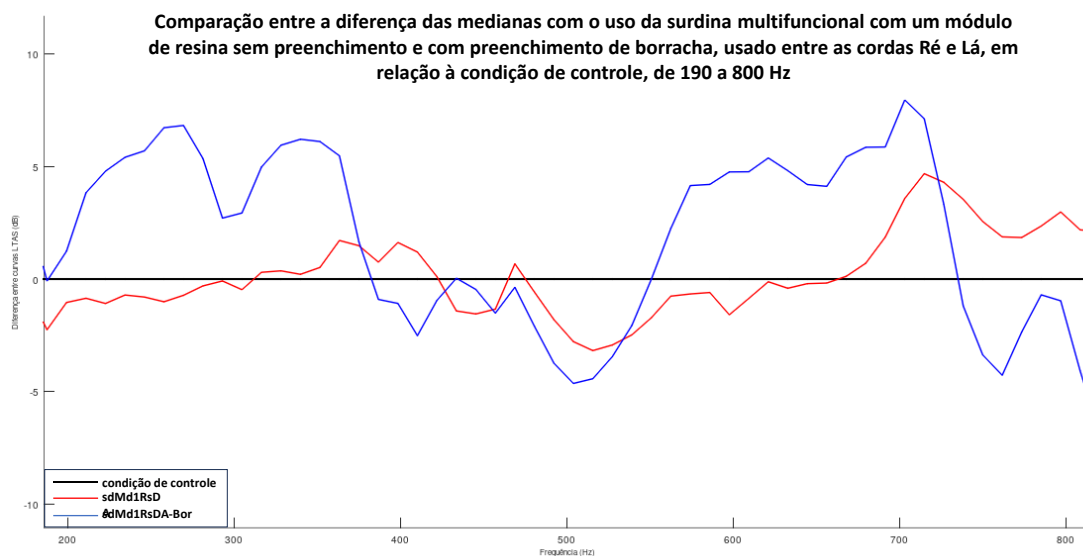


Gráfico 5.5 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz.

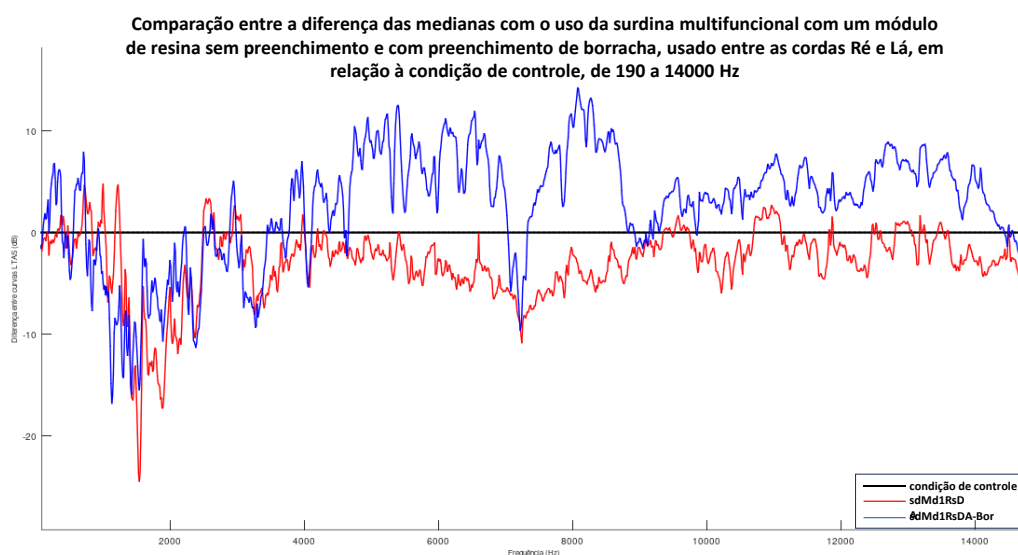
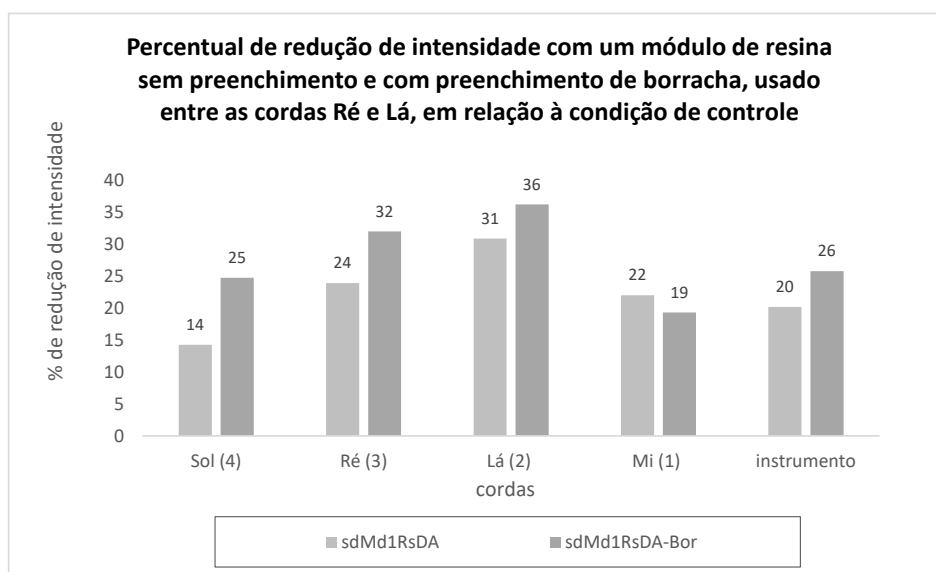


Gráfico 5.6 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de resina da surdina modular multifuncional sem e com preenchimento com cilindro de borracha, usadas entre as cordas Ré e Lá, em relação à condição de controle



❖ Observações gerais:

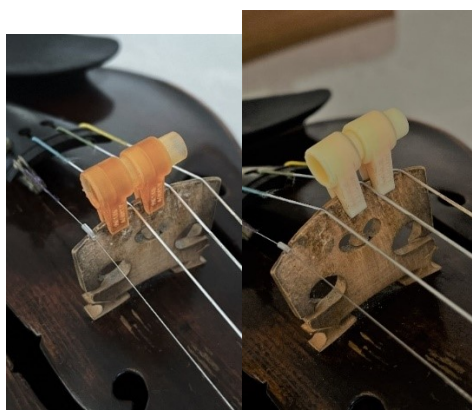
- na região grave do espectro (gráfico 5.4) as duas configurações de uso apresentaram efeitos bem distintos, o que era esperado, já que há uma diferença de peso significativa entre os dois dispositivos (1,04 e 1,54 gramas, diferença de 48% a mais de peso, em relação ao mais leve);
- os dois dispositivos apresentaram curvas bastante próximas na zona do *bridge hill*, coerentemente com o acoplamento similar em um mesmo ponto do cavalete, porém, bem distintas a partir dos 4.000 Hz, com uma grande zona de ganho gerada pelo dispositivo preenchido com borracha, efeito que pode ser relacionado ao acréscimo do material diferente (gráfico 5.5), ligado a alterações espectrais na região aguda, embora no presente caso comece a haver ganho ainda na região média;
- a atenuação do dispositivo mais pesado foi, como esperado, já que as duas condições de estudo usam o mesmo acoplamento, um pouco maior, com um efeito diferenciado de atenuação entre as cordas: a Mi sofreu a menor atenuação, seguida por em ordem crescente de perda de intensidade por Sol, Ré e Lá, a mais afetada (gráfico 5.6);

5.1.2 Configuração com dois módulos de resina sem preenchimento (2,08)

Características físicas:

- material de construção: resina Quanton 3D Iron 70/30 CLEAN;
- medidas: 2,6 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 2,08 gramas;

Figura 5.9 – Configuração com dois módulos em resina do protótipo em duas posições de uso.



(fonte: imagem própria)

Gráfico 5.7 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

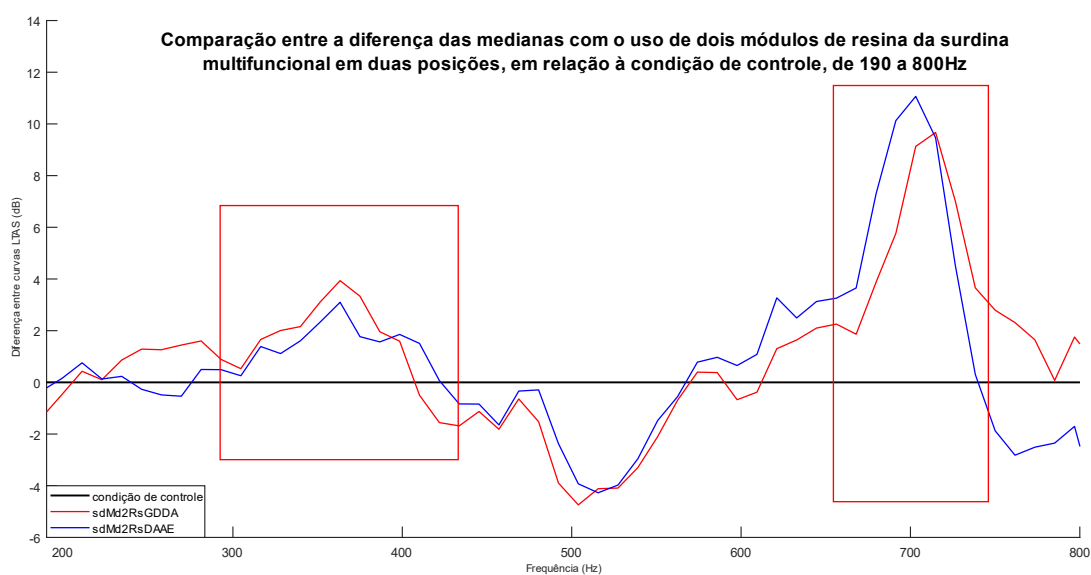


Gráfico 5.8 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 22.000 Hz.

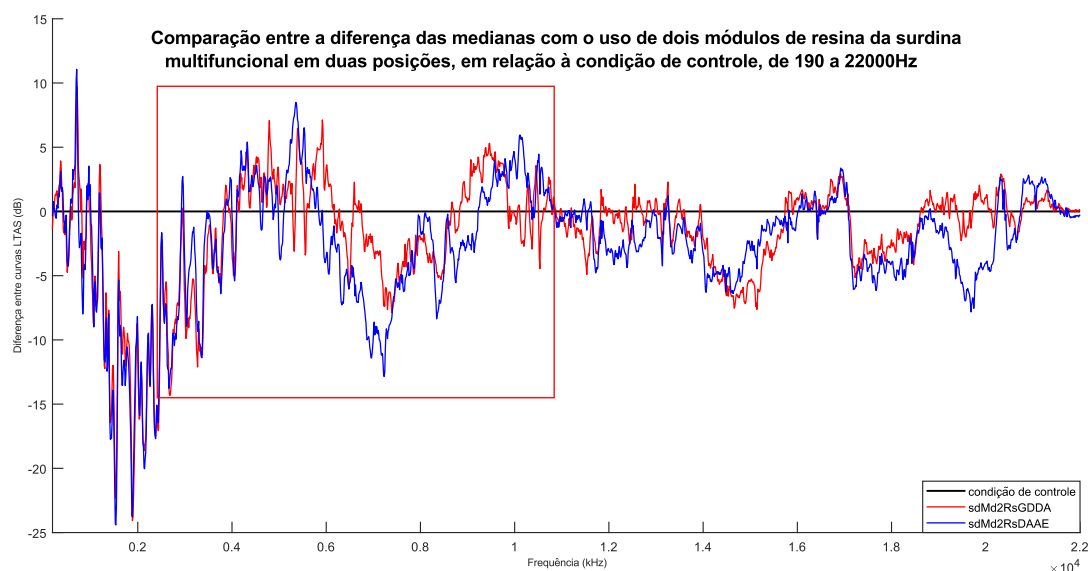
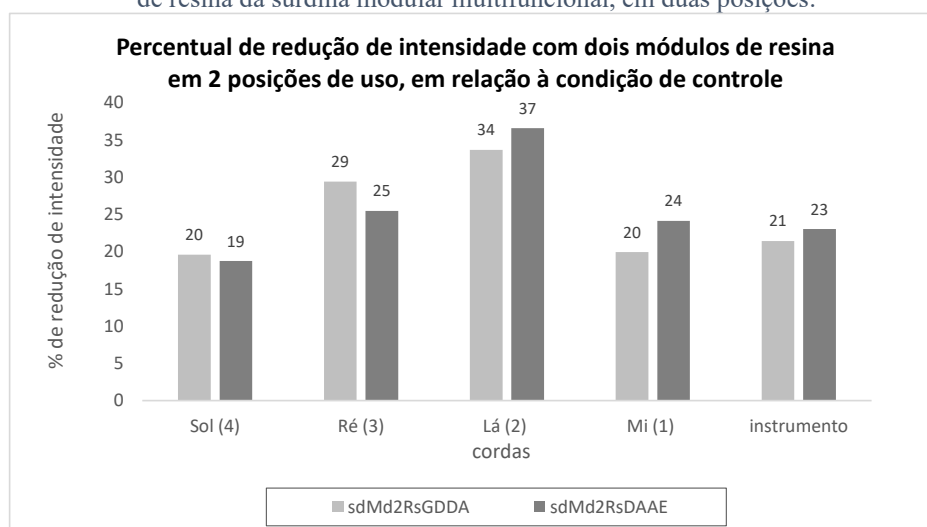


Gráfico 5.9 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de duas unidades de resina da surdina modular multifuncional, em duas posições.



❖ Observações gerais:

- na região grave, o uso em duas posições gerou curvas com contornos similares, de maneira coerente com a manutenção do mesmo peso dos dois módulos, com pequenas variações que fazem sentido frente à mudança na posição de acoplamento dos dois dispositivos. As

duas curvas geraram dois picos de ganho, o primeiro aos 370 Hz, ligeiramente mais forte com o uso do lado das cordas agudas e o segundo aos 700 Hz, com muito maior intensidade, porém, com maior ganho atingido pelo dispositivo acoplado do lado das cordas graves (destaques em vermelho no gráfico 5.7);

- na região do *bridge hill* as duas posições de uso provocaram alterações muito próximas, efeito esperado pelo mesmo tipo de acoplamento, diferenciado, porém, numa região logo acima desse ponto, o que faz sentido frente à mudança de posição (destaque em vermelho no gráfico 5.8);
- a atenuação gerada pelas duas posições de uso foi próxima entre si, com o uso do lado das cordas agudas gerando um percentual de redução ligeiramente maior do que o uso do lado das cordas graves (23% e 21%, respectivamente). A distribuição do efeito entre as cordas seguiu o mesmo padrão nas duas condições de estudo, da maior atenuação para a menor: Lá, Ré, Mi e Sol, sendo que com o uso do lado das cordas graves, Sol e Mi apresentaram o mesmo percentual de 20% (gráfico 5.8);
- essa configuração de uso com dois módulos gerou, em média, atenuação pouco superior ao uso de um módulo (não obstante esse efeito ter sido bastante diferenciado entre as três posições de uso com uma unidade), que tem metade do peso, e inferior à configuração com um módulo preenchido com borracha (gráficos 5.3 e 5.6) o que pode ser atribuído, além da variação do tipo e posição de acoplamento com o cavalete, aos diferentes efeitos de ressonância relacionados ao tubo interno vazio ou preenchido;

5.1.3 Configurações com três módulos de resina

Características físicas:

- material de construção: resina Quanton 3D Iron 70/30 CLEAN;
- medidas: 3,6 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 3,12 gramas;

5.1.3.1 Sem preenchimento (3,12 gramas)

Figura 5.10 – Configuração com três módulos em resina do protótipo em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete.



(fonte: imagem própria)

Gráfico 5.10 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

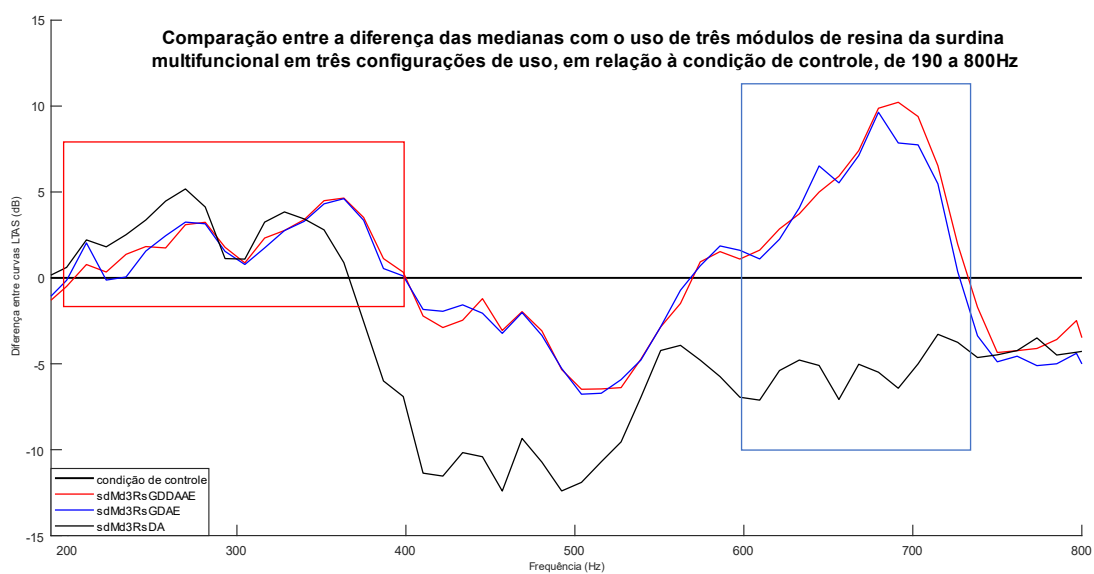


Gráfico 5.11 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 9.000 Hz.

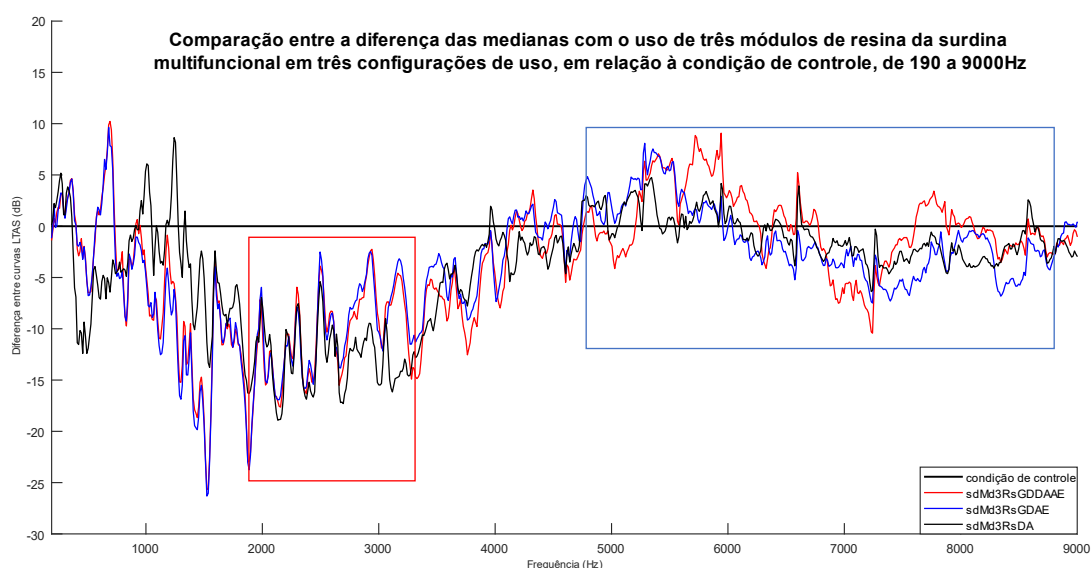
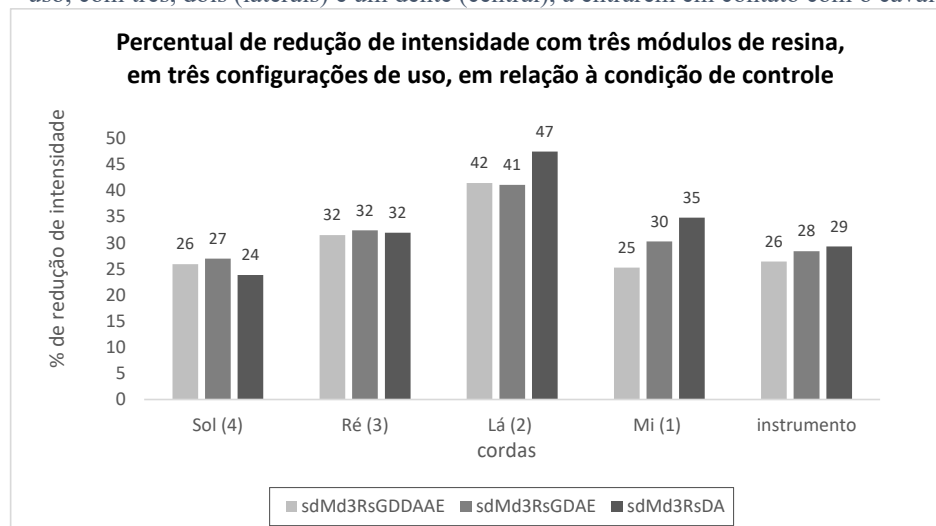


Gráfico 5.12 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, em três configurações de uso, com três, dois (laterais) e um dente (central), a entrarem em contato com o cavalete.



❖ Observações gerais:

- na região grave, o uso de três diferentes configurações de acoplamento com o cavalete de um dispositivo com três módulos gerou dois padrões bastante distintos: um formado pelas curvas das configurações com dois e três dentes acoplados ao cavalete e o outro com a

configuração que utilizou apenas o dente central no acoplamento; as três configurações geraram um primeiro pico de ganho de energia no extremo grave (destaque em vermelho no gráfico 5.10), porém, a configuração com contato de apenas um dente o deslocou ainda mais para o grave; a partir desse ponto, porém, essa configuração se diferencia fortemente das outras, que geraram um segundo pico muito mais intenso que o primeiro por volta dos 700 Hz (destaque em azul no gráfico 5.10); nesse caso a grande diferença de acoplamento da configuração que usa apenas um dente para fixar-se no cavalete (deixando o dispositivo muito mais livre do que os dois outros acoplamentos), pode ser considerada a causa principal da diferenciação do efeito observado;

- embora por volta dos 2.000 Hz as três configurações de uso tenham apresentado curvas bastante próximas, no centro da região do *bridge hill* (3.000 Hz), novamente observa-se uma diferenciação entre o uso com um dente de contato apenas e as outras duas, com estas gerando menos perda de energia do que a primeira (destaque em vermelho no gráfico 5.11); dos 5.000 Hz para a frente, porém, as três curvas comportam-se de maneira mais diferenciada (destaque em azul no gráfico 5.11), podendo-se relacionar essas variações, assim como o comportamento no *bridge hill*, aos diferentes acoplamentos;
- a configuração com o acoplamento com os três dentes foi a que gerou a menor atenuação geral, com a distribuição desse efeito entre as cordas variando entre as três configurações de uso, porém, sem grandes extremos, com a corda Lá atingindo o maior percentual de redução de intensidade com as três configurações;

5.1.3.2 Com preenchimento de borracha, ébano e chumbo (4,42, 4,44 e 9,52 gramas, respectivamente)

Características físicas dos cilindros de preenchimento:

- material de construção: borracha sintética;
- medidas: 3,6 cm x 0,55 cm;
- peso: 1,30 gramas;

- material de construção: ébano;
- medidas: 4 cm x 0,55 cm;
- peso: 1,32 gramas;

- material de construção: chumbo;
- medidas: 4 cm x 0,55 cm;
- peso: 8,40 gramas;

Gráfico 5.13 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

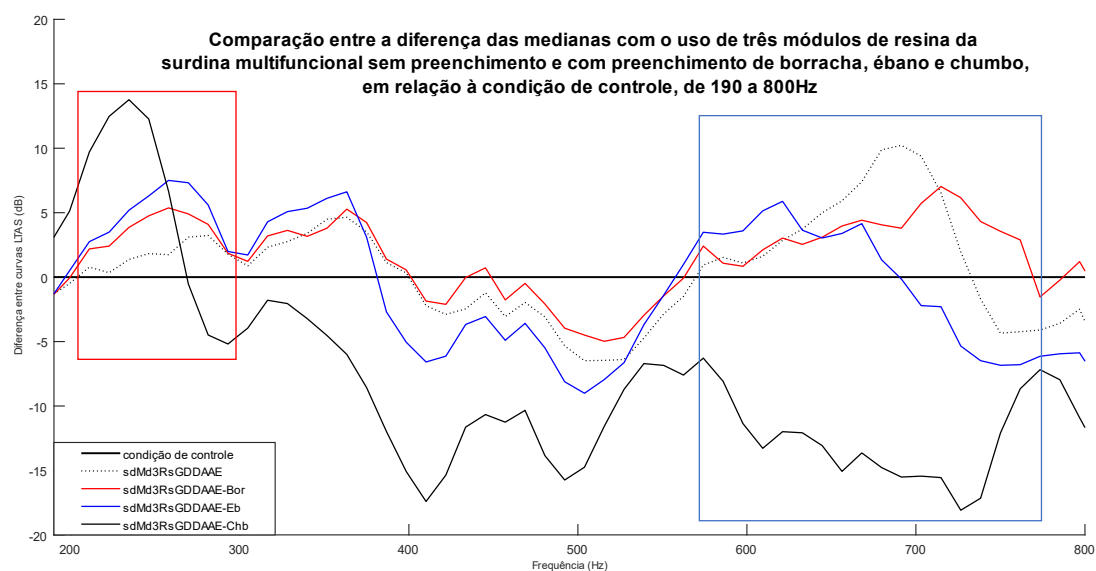


Gráfico 5.14 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 12000 Hz.

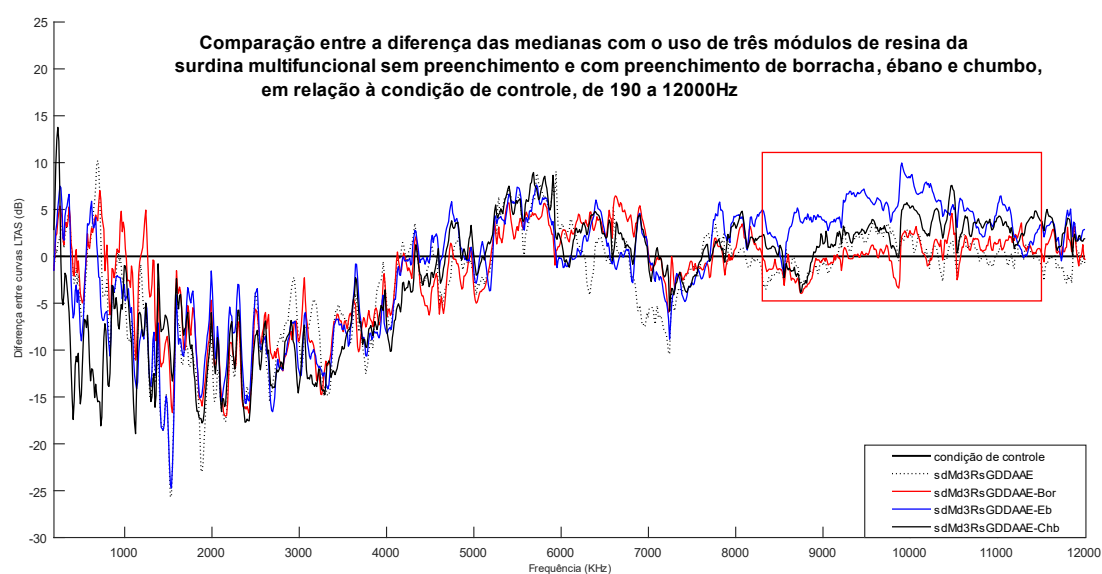
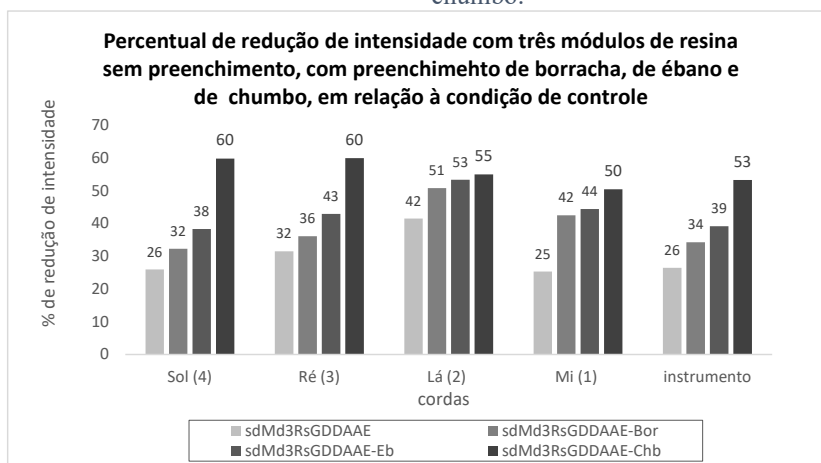


Gráfico 5.15 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, com preenchimento de borracha, de ébano e de chumbo.



❖ Observações gerais:

- os efeitos das quatro configurações, que utilizaram o mesmo tipo de acoplamento, no extremo grave, estão claramente relacionados ao peso: a configuração com preenchimento de chumbo gerou um ganho muito maior e mais para o grave do que as demais, que mantiveram curvas próximas de ganho, porém, coerentes com a diferença de peso: a configuração sem preenchimento, menor peso (3,12 gramas), gerou o menor ganho, a com preenchimento de borracha, segundo menor peso (4,42 gramas), segundo menor ganho e a preenchida com ébano, de peso similar à anterior (4,44 gramas), um ganho um pouco maior do que a com borracha (destaque em vermelho no gráfico 5.13); já o segundo pico de ganho, por volta de 700 Hz, gerado por todas as configurações, com exceção da com preenchimento de chumbo, apresentou proporção inversa ao do primeiro, sendo o maior ganho provocado pelo dispositivo mais leve, bem superior em intensidade ao que havia produzido no extremo grave (destaque em azul no gráfico 5.13);
- na região do *bridge hill* os quatro dispositivos apresentaram comportamento bastante próximo, coerentemente com o mesmo acoplamento ao cavalete; destaca-se o efeito de ganho observado entre 8.000 e 11.000 Hz, região que sofre alterações relacionadas ao tipo de material empregado no dispositivo, onde a surdina com preenchimento interno de ébano gerou um grande ganho (destaque em vermelho no gráfico 5.14), similar ao observado com a surdina de ébano menor, e demais dispositivos de madeira, que variam um pouco apenas em relação ao ponto onde geram os maiores picos nessa região (vide gráficos 4.53 e 4.63);

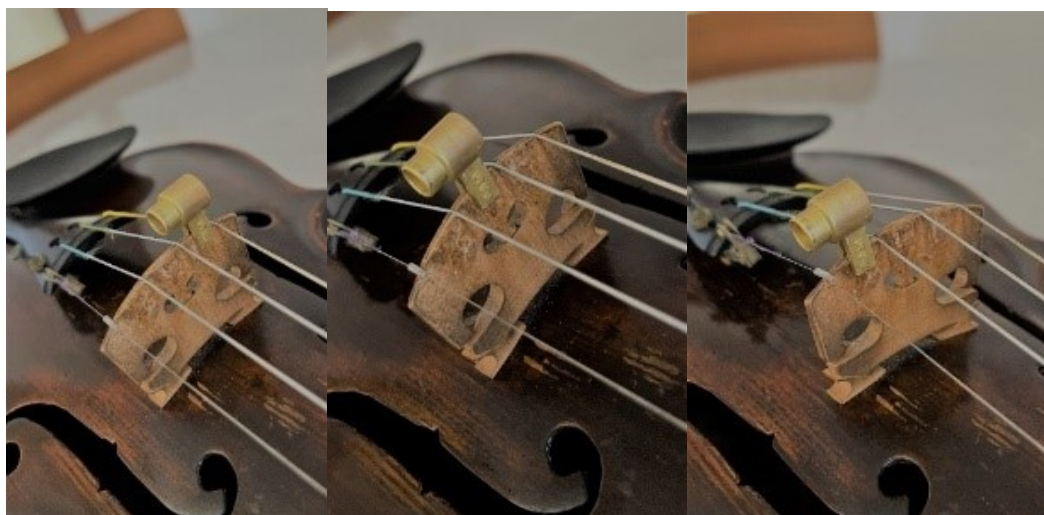
- em relação à atenuação, a surdina com preenchimento de chumbo comportou-se, já, como um abafador, gerando perda de intensidade média de 53% e certo equilíbrio de efeito entre as cordas, com as mais graves sendo mais afetadas do que as mais agudas; chama a atenção a diferença de efeito médio entre a surdina preenchida com borracha e a preenchida com ébano, relativamente grande (34% e 39%, respectivamente), dado o peso quase igual, o que indica influência do material também nesse efeito;

5.1.4 Configurações com um módulo de metal sem preenchimento (4,75 gramas)

Características físicas:

- material de construção: latão fundido;
- medidas: 1,5 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 4,75 gramas;

Figura 5.11 – Configuração com um módulo em metal do protótipo em três posições de uso.



(fonte: imagem própria)

Gráfico 5.16 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

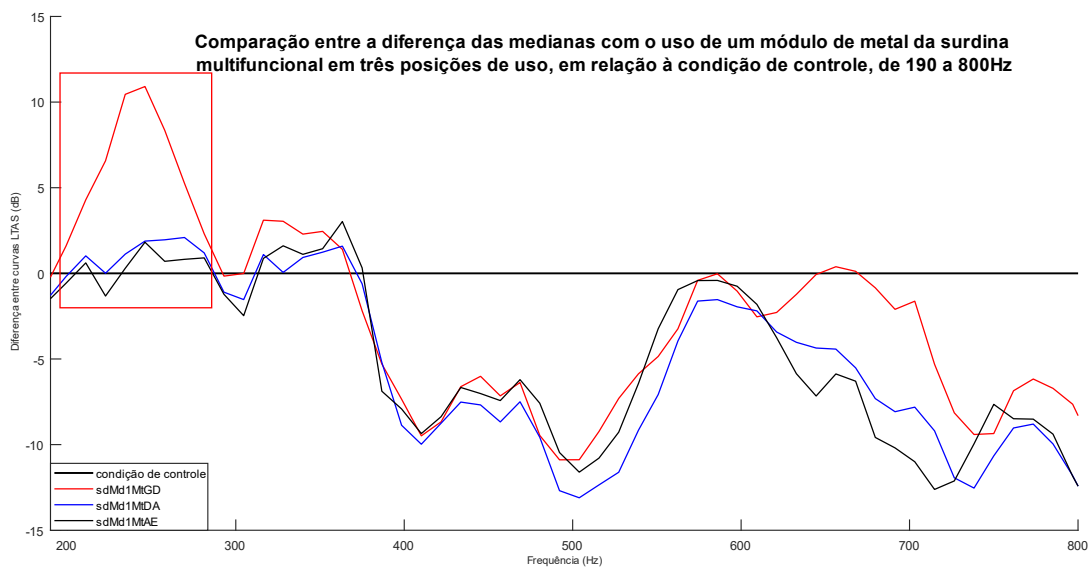


Gráfico 5.17 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz.

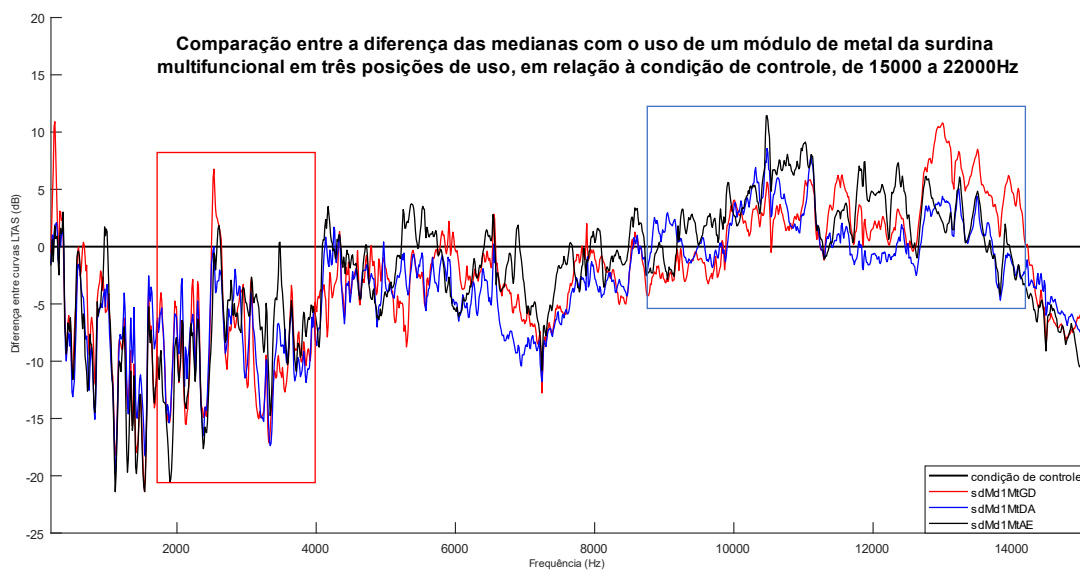


Gráfico 5.18 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições de uso, em relação à condição de controle, de 15 kHz a 22 kHz.

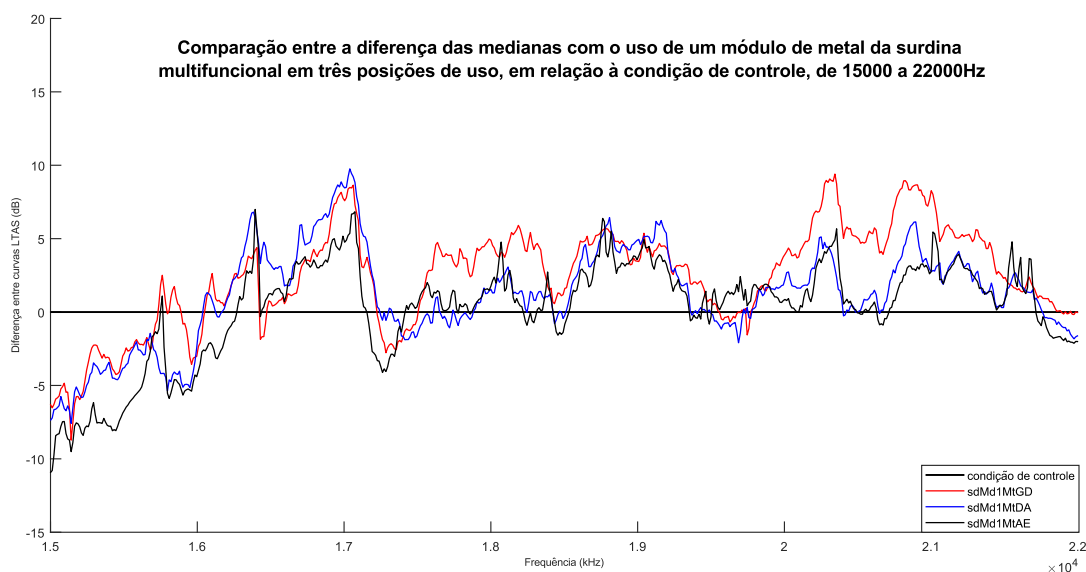
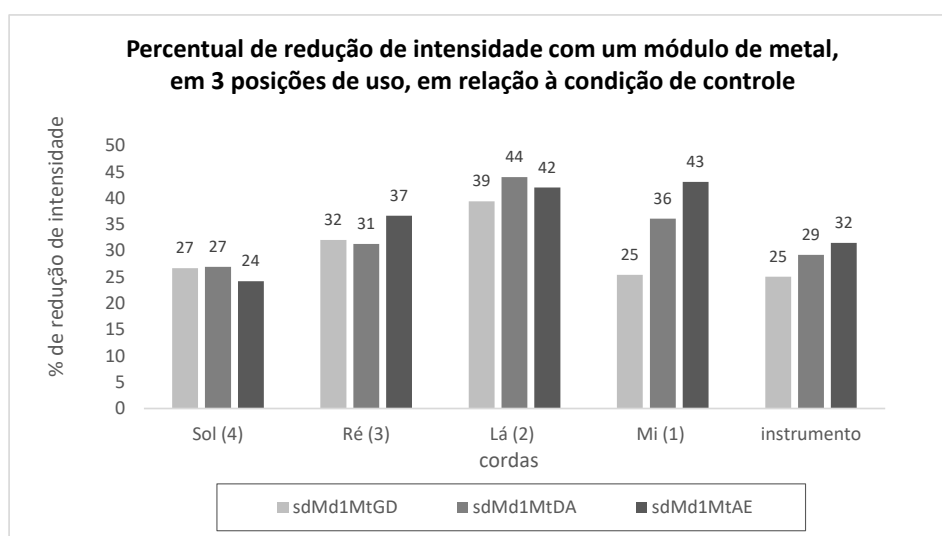


Gráfico 5.19 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de uma unidade de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento, em três posições.



❖ Observações gerais:

- dentre todas as condições de estudo com o uso das diferentes configurações do protótipo analisadas, o uso de um módulo de metal entre as cordas Sol/Ré gerou o efeito mais surpreendente, destacando-se totalmente das duas outras posições de uso com um módulo de metal: um grande pico de ganho no extremo grave que não foi acompanhado pelas outras

duas curvas (detalhe em vermelho do gráfico 5.17)²¹⁹; ainda que diferenças de acoplamento (no caso, apenas a posição) eventualmente influenciem nos efeitos no extremo grave, uma diferença tão grande é incomum; deve-se considerar a possibilidade de algum efeito específico ligado ao peso e ao formato tubular (nessa configuração, não preenchido, oco), que podem ter produzido alguma ressonância localizada, gerando esse ganho diferenciado nessa região; interessante observar que após esse ponto, a curva dessa posição de uso aproxima-se bastante das demais, de maneira coerente para dispositivos com mesmo peso e acoplamento;

- na região do *bridge hill* as três curvas apresentaram bastante similaridade, esperada de dispositivos com mesmo tipo de acoplamento com o cavalete que variaram apenas o ponto de contato (detalhe em vermelho do gráfico 5.17), apresentando diferenças mais consistentes em faixas mais altas do espectro, a partir dos 9.000 Hz aproximadamente;
- observou-se também alterações significativas na região super aguda do espectro (gráfico 5.18), com alguma variação entre as diferentes posições de uso, mas, no geral, com um efeito comum entre as três curvas, de gerar faixas de ganho, que, geralmente, são associadas ao uso de metal em surdinias;
- quanto à atenuação, o uso entre as cordas Lá/Mi obteve o maior percentual, de 32%, mesmo valor observado com o uso de três módulos de resina com preenchimento de borracha, sendo relevante observar que as duas configurações têm peso próximo: 4,75 para um módulo de metal e 4,42 para a outra configuração; a corda Lá sofreu o maior efeito de atenuação nas posições de uso entre as cordas Sol/Ré e Ré/Lá;

5.1.5 Configurações com três módulos de metal

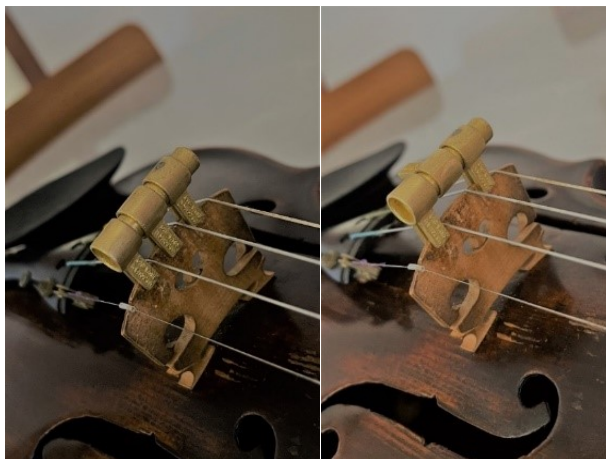
Características físicas:

- material de construção: latão fundido;
- medidas: 3,6 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 14,25 gramas;

²¹⁹ Sendo a presente avaliação de caráter preliminar, dada as limitações de amostragem, esse resultado, particularmente, deve ser considerado com atenção, recomendando-se novas investigações, embora todo o processo de análise com os quatro *takes* registrados com essa condição de estudo tenha sido revisado, não tendo apresentado outras discrepâncias nas demais análises realizadas.

5.1.5.1 Sem preenchimento (14,25 gramas)

Figura 5.12 – Configuração com três módulos em metal do protótipo em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais), a entrarem em contato com o cavalete.



(fonte: imagem própria)

Gráfico 5.20 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

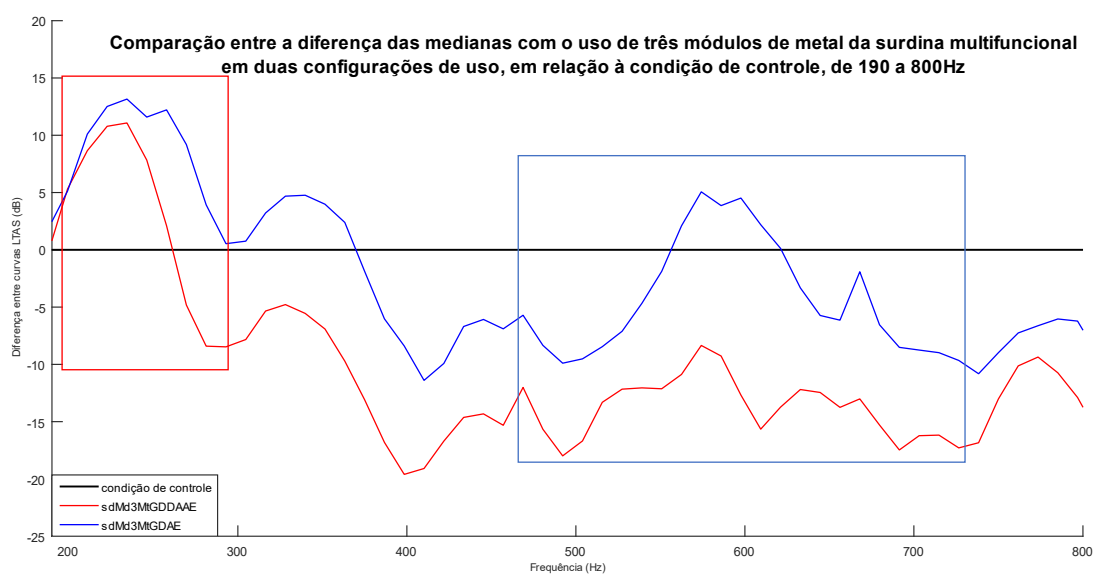


Gráfico 5.21 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz.

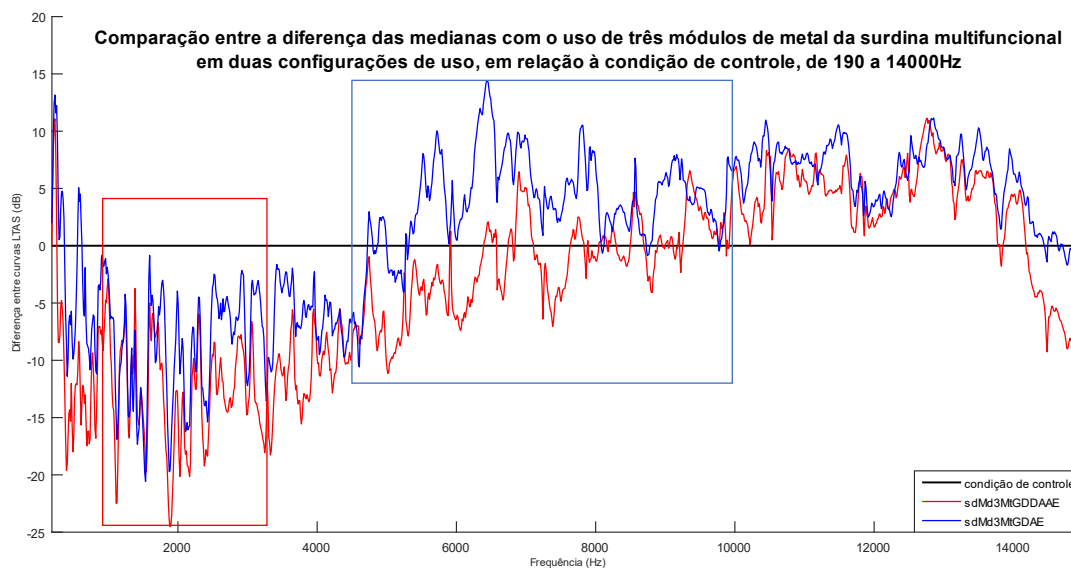
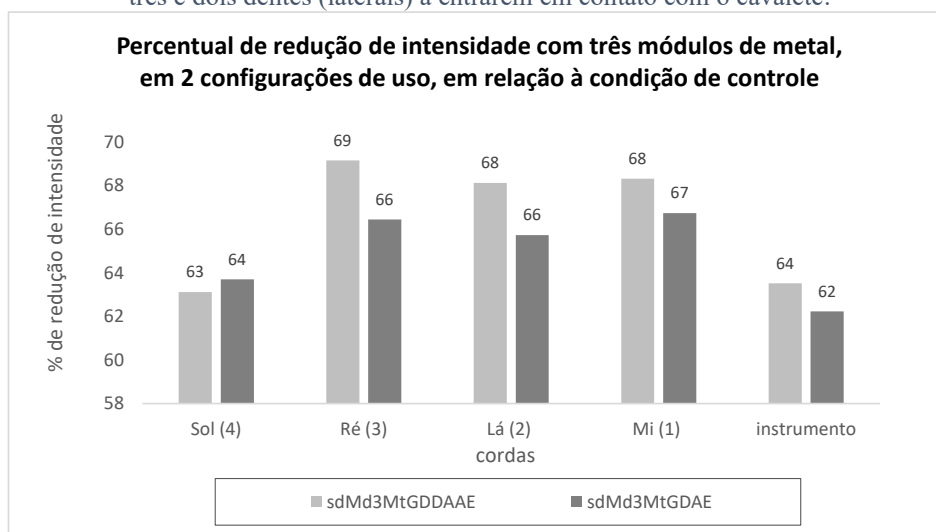


Gráfico 5.22 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, em duas configurações de uso, com três e dois dentes (laterais) a entrarem em contato com o cavalete.



❖ Observações gerais:

- na região do extremo grave, as duas configurações de uso com três módulos de metal apresentaram efeitos próximos, como esperado para surdinas com o mesmo peso, porém, pontos de contato com o cavalete diferentes, com a configuração que utilizou os três dentes no acoplamento gerando menor ganho nesse ponto (destaque em vermelho no gráfico 5.20); ainda na faixa do grave, a surdina com os três dentes acoplados ao cavalete

apresentou, também, ação mais forte, com maior perda de energia e não gerando o segundo pico de ganho, por volta dos 600 Hz, que a outra configuração, sem contato do dente central, provocou (destaque em azul no gráfico 5.20);

- embora numa faixa entre 1.000 e 2.000 Hz as duas configurações de uso tenham tido efeito muito próximo, no ponto de referência do *bridge hill* (3.000 Hz), houve certa diferenciação (destaque em vermelho no gráfico 5.21), e, principalmente, após essa faixa, com a surdina sem contato do dente central produzindo uma faixa de ganho razoável, como resultado dos diferentes acoplamentos dos dispositivos com o cavalete (destaque em azul no gráfico 5.21);
- o dispositivo sem contato do dente central gerou menor perda de intensidade do que a outra configuração, destacando-se um efeito bastante equilibrado entre as cordas Ré, Lá e Mi, e a corda Sol apresentando os menores percentuais de atenuação, com o uso das duas configurações;

5.1.5.2 Com preenchimento de borracha e chumbo (15,55 e 22,65 gramas, respectivamente)

Características físicas dos cilindros de preenchimento:

- material de construção: borracha sintética;
- medidas: 3,6 cm x 0,55 cm;
- peso: 1,30 gramas;

- material de construção: chumbo;
- medidas: 4 cm x 0,55 cm;
- peso: 8,40 gramas;

Gráfico 5.23 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

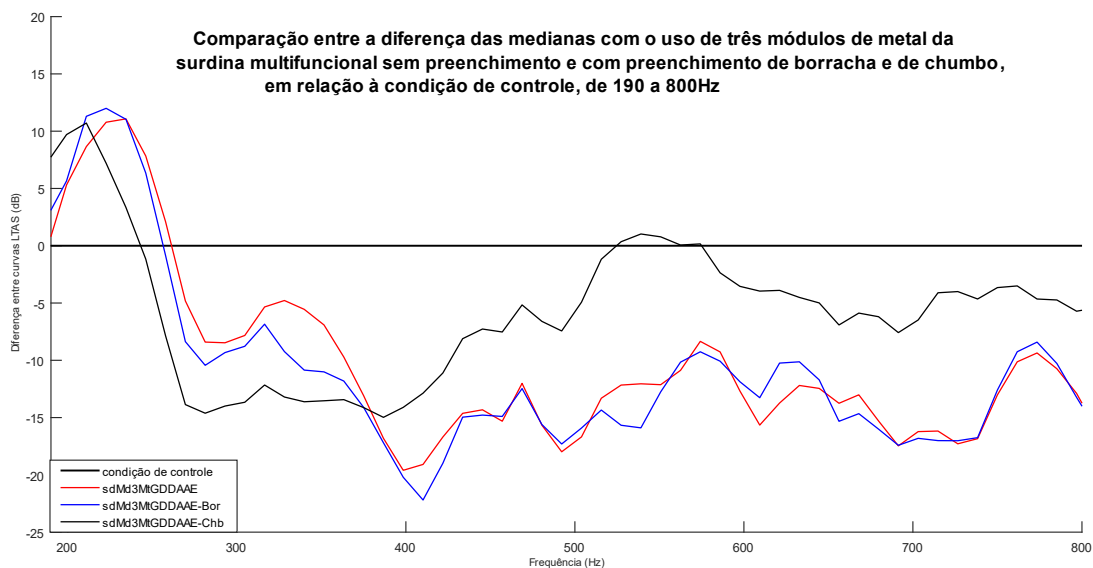


Gráfico 5.24 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo, em relação à condição de controle, de 190 a 14.000 Hz.

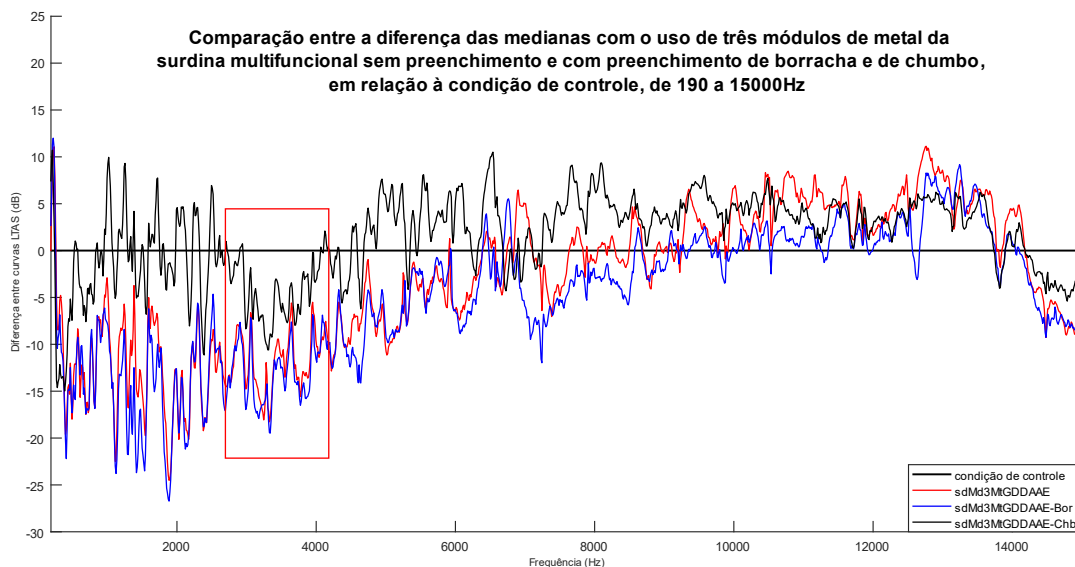
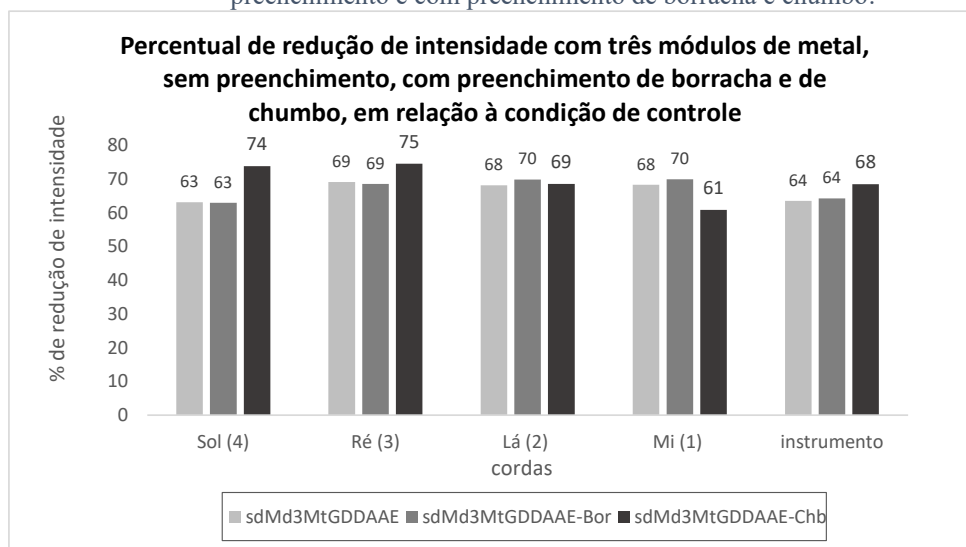


Gráfico 5.25 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de metal da surdina modular multifuncional, sem preenchimento e com preenchimento de borracha e chumbo.



❖ Observações gerais:

- no extremo grave o comportamento das três configurações com três módulos de metal foi coerente com o peso, como esperado, sendo que a com o uso do cilindro de chumbo (montagem do protótipo com maior peso, 22,65 gramas), deslocou o pico de ganho mais para o grave; a configuração sem preenchimento e com preenchimento de borracha, de pesos muito próximos (14,25 e 15,55, respectivamente), apresentaram resultados similares; chama a atenção no restante da região grave, o fato da surdina mais pesada ter provocado menos perda de energia do que as outras duas (gráfico 5.23);
- até os 6.000 Hz, aproximadamente, a configuração de uso sem preenchimento e com preenchimento de borracha produziram curvas bem similares, inclusive no *bridge hill*, só se diferenciando a partir desse ponto; já o dispositivo com preenchimento de chumbo, não obstante possuir o mesmo tipo de acoplamento que os outros dois, mostrou efeitos mais distintos, gerando menor perda de energia com pontos isolados de ganho, aproximando-se mais das outras configurações somente no ponto próximo ao *bridge hill* (destaque em vermelho no gráfico 5.24), efeitos que podem ser relacionados aos diferentes materiais utilizados nas montagens;
- Em relação à atenuação o dispositivo preenchido com chumbo, como esperado, gerou um efeito maior, embora com uma diferença relativamente pequena, quando comparado às outras duas montagens (que obtiveram o mesmo percentual de redução de intensidade), com efeito mais forte nas cordas graves;

5.1.6 Configurações com dois módulos de resina intercalados com um de metal sem e com preenchimento de ébano (7,55 e 8,87 gramas, respectivamente)

Figura 5.13 – Configuração com dois módulos de resina intercalados com um de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento.



(fonte: imagem própria)

Características físicas da configuração de uso:

- material de construção: resina Quanton 3D Iron 70/30 CLEAN (2 módulos) e latão fundido (1 módulo);
- medidas: 3,6 cm x 2,1 cm x 1 cm;
- peso: 7,55 gramas;

Características físicas do cilindro de preenchimento:

- material de construção: ébano;
- medidas: 4 cm x 0,55 cm;
- peso: 1,32 gramas;

Gráfico 5.26 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional, em relação à condição de controle, de 190 a 800 Hz.

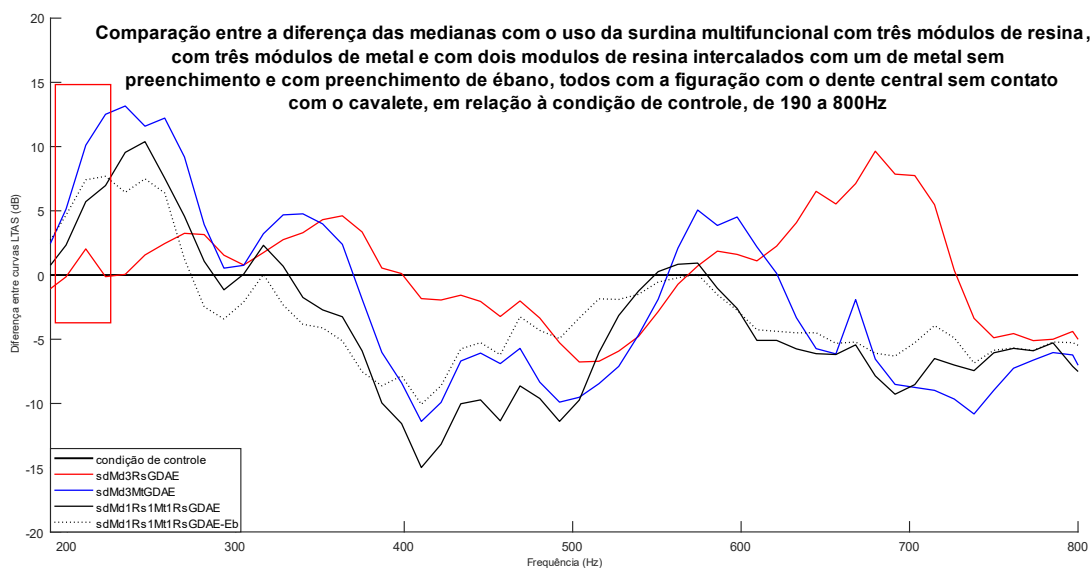


Gráfico 5.27 – Comparação entre a diferença das medianas de LTAS com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional, em relação à condição de controle, de 190 a 8.000 Hz.

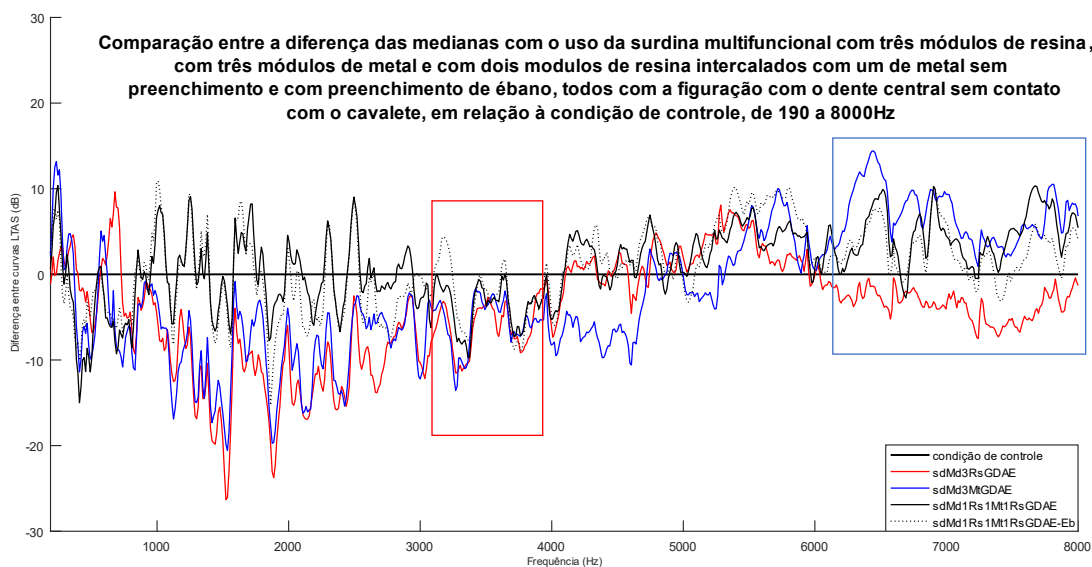
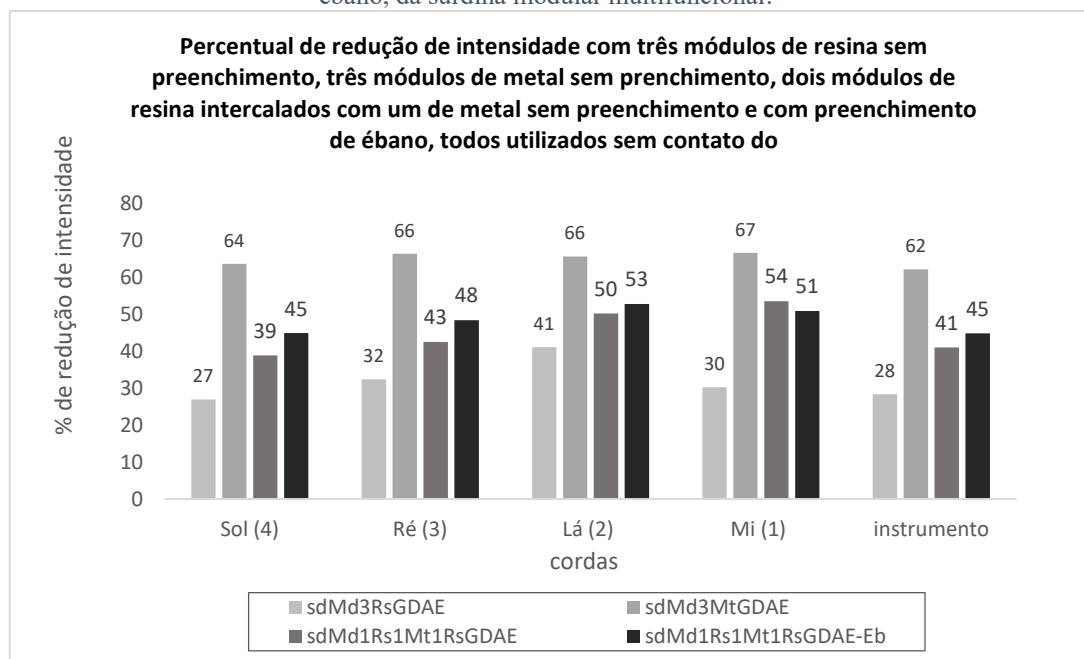


Gráfico 5.28 – Percentual de redução de intensidade em relação à condição de controle com o uso de três unidades de resina, três unidades de metal e duas unidades de resina intercaladas com uma unidade de metal, sem contato do dente central com o cavalete, sem preenchimento e com preenchimento de ébano, da surdina modular multifuncional.



❖ Observações gerais:

- no extremo grave (destaque em vermelho no gráfico 5.26) os picos de ganho foram proporcionais ao peso: menor para a montagem somente com módulos de resina (3,12 gramas); em segundo a montagem com dois módulos de resina e um de metal sem preenchimento (7,55 gramas), embora o ponto máximo de ganho com esse dispositivo tenha sido maior do que o da montagem seguinte, porém, um pouco mais para o agudo; em seguida, a com dois módulos de resina e um de metal com preenchimento de ébano (8,87 gramas) e, finalmente, com o maior acréscimo de energia, a configuração mais pesada com três módulos de metal sem preenchimento (14,25 gramas);
- no começo da região médio aguda, observa-se grande variedade de ação das diferentes montagens, cujas curvas, porém, alcançam um ponto de confluência pouco acima da zona do *bridge hill* (destaque em vermelho no gráfico 5.27), lembrando que todas as quatro configurações aqui possuem os mesmos pontos de acoplamento com o cavalete, os dois dentes das extremidades: em três dos casos, com dentes de resina, somente a montagem com módulos unicamente de metal varia quanto a esse aspecto; a partir dos 6.000 Hz todas as configurações, com exceção da com módulos exclusivamente de resina, geram faixas

com diferentes ganhos, refletindo a variedade de materiais empregados em suas montagens;

- o efeito de atenuação foi também proporcional ao peso, com a montagem somente com módulos de metal produzindo um efeito bem mais forte nesse quesito, com as duas configurações que utilizaram módulos de materiais variados superando o percentual de 40% de redução de intensidade em relação à condição de controle;

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão da presente proposta de pesquisa, a avaliação dos resultados obtidos, em um contexto mais amplo, precisa considerar as diferentes etapas do percurso, desde sua concepção, passando pelas estratégias de desenvolvimento implementadas, até a análise dos resultados obtidos e seu alcance.

A delimitação do objeto de estudo, frente aos desafios representados pela necessidade de se lidar com uma investigação de natureza multidisciplinar tão ampla, exigiu clareza: a matéria prima de análise da presente pesquisa não são as surdinas em si, mas sim, *o áudio registrado com o uso das mesmas*. Se a colocação é um tanto óbvia, a assimilação de seu significado foi essencial para localizar o campo de ação do trabalho, permitindo entender o papel representado pela acústica no mesmo, com a clareza de que o objetivo não era investigar o comportamento vibratório das surdinas no contexto do sistema de transmissão de energia do cavalete, mas, sim, se aproximar das mesmas pela análise dos efeitos de seu uso no som do instrumento. A partir dessa definição, os limites da pesquisa foram estabelecidos: o que seria amostrado, como seria amostrado, o quanto seria amostrado e de que maneira os dados seriam extraídos e analisados, e quais ferramentas seriam empregadas para tanto. Ao mesmo tempo, a percepção do uso das surdinas na prática musical atual, seja do ponto de vista histórico-estilístico da performance ou, mesmo, do ponto de vista mais pragmático representado pela convivência com os abafadores, fez-se essencial para trazer sentido a toda a investigação. Todos esses fatores foram considerados, junto à delimitação representada pelo tempo disponível para o trabalho ser realizado, nas definições do processo como um todo: quantas surdinas seriam amostradas, por quantos músicos, em que condições, como se procederia para “variá-las” e como se avaliariam esses procedimentos, de maneira a tornar viável a proposta. Somente a completa definição desse escopo básico permitiu deixar em aberto, apenas, uma última questão, que só poderia ser definida após boa parte do trabalho estar realizado: a viabilidade, ou não, do desenvolvimento de um protótipo para uma nova surdina.

Do ponto de vista metodológico, essas várias etapas foram sendo concretizadas. Em primeiro lugar, o desenvolvimento dos procedimentos implementados visando a obtenção de amostras parametrizadas, que possibilitassem a extração e comparação de dados objetivos extraídos do áudio, chegou a resultados consistentes, não obstante as complexidades que envolvem o trabalho com performance humana de instrumentos musicais, a partir da definição e implementação de descritores acústicos capazes de diferenciar e ajudar a explicar, tanto quanto possível, as diferentes ações das surdinas. Em seguida, a busca de caminhos que levassem a uma melhor compreensão do funcionamento das surdinas, principalmente no sentido de entender de

que maneira sua natureza física se soma a um sistema acústico tão complexo quanto um violino sendo tocado, representada pelo desenvolvimento das *Prospecções metodológicas baseadas na variação controlada de características físicas específicas das surdinas*, apresentou resultados igualmente robustos, não no sentido de esgotar o assunto, mas, antes pelo contrário, indicando, em verdade, caminhos concretos de abordagem para uma investigação de natureza eminentemente empírica. Nesse ponto, o processamento de uma enorme quantidade de dados, as estratégias para comparar as diferentes condições de estudo, o emprego de recursos estatísticos e de análise comparada foram essenciais. Embora uma das conclusões da presente investigação tenha sido, justamente, a ocorrência de grande interatividade entre as distintas características físicas das surdinas em seus efeitos, os *Estudos* levados a cabo, e demais análises, conseguiram isolar alguns papéis específicos bem definidos dessas características, notadamente, a relação direta entre o peso e a alteração espectral no extremo grave, a relevância da natureza do acoplamento com o cavalete na região média, sobretudo do *bridge hill*, a relação entre o material de construção e efeitos de ganho de energia espectral na região aguda, a não dependência apenas do fator peso na atenuação, dentre outros. Nesse âmbito, o *Resumo com as diretrizes gerais observadas no funcionamento das surdinas*²²⁰ apresenta a síntese dos resultados das análises aplicadas nas amostras de áudio com o emprego das diferentes surdinas e configurações de uso estudadas. Embora muitas outras relações entre a natureza física/efeitos das surdinas permaneçam ainda nebulosas, sobretudo, considerando-se a quase inesgotável variedade de dispositivos existentes, ou que ainda podem ser concebidos, os resultados obtidos trouxeram segurança no método desenvolvido para que se partisse para o último desafio: o planejamento ativo de um novo modelo de dispositivo, corolário de todo o projeto inicial, e que, até o final de 2022, ainda era incerto. Apesar do prazo extremamente limitado, de apenas um semestre para todo o processo de desenvolvimento, o desafio justificou-se frente ao resultado: um protótipo funcional de uma *surdina modular multifuncional*, pôde ser apresentando, encerrando esse ciclo de trabalhos.

Dentre as principais contribuições da presente pesquisa, destacam-se o desenvolvimento do protocolo de execução instrumental, não só pelo seu bom desempenho nas condições de amostragem exploradas aqui, mas, principalmente, por apresentar subsídios para o planejamento de execuções em instrumentos de cordas que possibilitem reproduções de performance controladas, que podem ser desenvolvidas para diferentes contextos de pesquisa; o registro de um novo banco de áudio, com mais de 14 horas de gravação controlada de dois violinos sem e com diversos tipos de surdina; a implementação de vários procedimentos de análise de áudio

²²⁰ Seção 4.5, p. 315.

específicos para a sonoridade do violino; o mapeamento sistemático dos efeitos de várias surdinas, dentre as quais os principais modelos utilizados no país; contribuições oriundas de todo o processo, da amostragem à análise, acerca da compreensão do funcionamento acústico do violino, do cavalete e, evidentemente, das surdinas para cordas; o desenvolvimento do protótipo da *surdina modular multifuncional*, dispositivo de aplicação direta em novas pesquisas sobre surdinas e, eventualmente, sobre o próprio cavalete, além da viabilidade de desenvolvimento de um produto comercial a partir do mesmo.

Em relação ao protótipo, devido ao pouco tempo disponível para finalização do mesmo, há toda uma série de questões relativas ao seu desenvolvimento e desempenho que apenas começaram a ser investigadas, muitas das quais surgiram no próprio processo de avaliação do mesmo: de diferentes possibilidades de materiais para sua confecção até inesperados efeitos acústicos gerados pelo tubo oco que o integra, ainda pouco analisados, passando pela finalização do design do mesmo e pelo eventual processo de depósito de uma patente, há ainda um longo caminho até a conclusão da *surdina modular multifuncional*, que, certamente, se estenderá para além da conclusão do presente doutorado.

A finalização desse processo, porém, marca o encerramento de um grande ciclo de trabalho que se debruçou, especificamente, sobre a natureza intrínseca do som, buscando detectar e compreender a natureza dos elementos que o compõem, e que se revelam para nós na sensação auditiva que entendemos, principalmente, como timbre. A complexidade com que um instrumento musical como o violino é capaz de operar esses componentes, em seu processo de geração sonora, justificou uma abordagem tão objetiva, cujo principal fim, talvez, tenha sido, em verdade, delimitar, por meio de descritores acústicos, de maneira a tornar racionalmente compreensível, pelo menos uma pequena parte do que se oculta em nossas sensações sonoras. Nesse sentido, o estudo das surdinas, além do fim em si mesmo, possibilitou uma aproximação extremamente rica de toda a problemática que envolve a compreensão do fenômeno físico do som aplicada ao instrumento. Estando atendida essa primeira demanda, eminentemente objetiva, porém, a ligação entre o som e a música se apresenta como desenvolvimento natural do presente trabalho.

Nesse sentido, um próximo passo para a continuidade da pesquisa acerca das surdinas é, justamente, estabelecer ligações, pontos de contato, entre o conteúdo objetivo de análise, acessível por meio do ferramental desenvolvido, com a prática musical real e sua percepção subjetiva. Ou seja, o que até então vinha sendo tratado como maior ou menor ganho em faixas do espectro sonoro, deve ser agora relacionado ao que descrevemos, quando tocamos, como som *escuro ou brilhante, áspero ou doce, pleno ou oco, metálico ou nasalado etc.* Somente por meio dessa ponte, será possível entregar aos musicistas, a nível de performance musical, o conhecimento produzido

durante o processo de criação da *surdina modular*. As estratégias para tanto são inúmeras: desde o estabelecimento de relação entre padrões de dados objetivos e descritores subjetivos, por meio de testes de percepção dirigidos, até a análise de excertos de performance musical para comparação, na prática real, dos diferentes efeitos produzidos por diferentes tipos de surdina.

Além disso, fomentar a discussão acerca de um uso mais consciencioso das surdinas, diante de tantas possibilidades inexploradas, como foi amplamente discutido ao longo da caracterização das mesmas, seja por instrumentistas ou compositores, tem sido uma preocupação levantada desde o início da presente pesquisa, que pode ser alavancada agora por meio da discussão e divulgação dos resultados obtidos com o presente estudo, junto à comunidade de musicistas de cordas, e, também, com a divulgação do próprio protótipo da *surdina modular multifuncional*, como demonstrativo das potencialidades do recurso.

Outra sequência natural da pesquisa seria a adaptação do protótipo modular para os demais instrumentos de arco modernos, o que abre todo um novo campo de trabalho, não só considerando as avaliações necessárias acerca das particularidades acústicas de cada um dos três instrumentos (viola, violoncelo e contrabaixo acústico) como, também, em relação às possibilidades de performance diferenciada que um conjunto de cordas completo, munido de um mesmo tipo de surdina de configuração variável, poderia representar; o próprio *feedback* dos instrumentistas acerca da experiência com os protótipos poderia ser somado aos descritores objetivos no desenvolvimento das surdinas para os quatro tipos de instrumento, estabelecendo, novamente, pontes entre o objetivo e o subjetivo.

Enfim, as possibilidades são muitas: a exploração das sutilezas permitida pelos instrumentos acústicos tem sido, sempre, um dos pontos de fascínio e desafio para musicistas que lidam com o artesanato do som, seja transformando ciência em arte, ou arte em ciência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AHRENS, Christian. Metallic Mutes Used in the Eighteenth Century. **The Galpin Society Journal**, v. 60, p. 220-119, 2007.
- ANGYALOSSY, Veronica; AMANO, Erika; ALVES, E. Segala. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 819-834, 2005.
- ARBEAU, Thoinot et al. Apel, Willi, ed. **The Harvard Dictionary of Music**. First published in 1944 by Harvard University Press. London: Heinemann Educational, 1970.
- ASKENFELT, Anders. Observations on the violin bow and the interaction with the string. **STL-QPSR**, v. 36, n. 2-3, p. 107-118, 1995.
- BAILLOT, Pierre. **L'art du violon: nouvelle méthode dédiée à ses élèves**. imprimerie du conservatoire de musique, 1834. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, Disponível em:
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k11638868/f235.item.r=baillot%20l'art%20du%20violon>. Acesso em: 16 maio 2019.
- BARTON, Edwin Henry. **A Text-book on Sound**. Macmillan and Company, limited, 1908.
- BERLIOZ, Hector. **Grand traité d'instrumentation et d'orchestration modernes**. Schonenberger, 1844. Disponível em: ks4.imslp.info/files/imglnks/usimg/8/89/IMSLP88917-PMLP28373-Traite1843ed1c.pdf. Acesso em: 16 maio 2019
- BISSINGER, George. The violin bridge as filter. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, n. 1, p. 482-491, 2006.
- BONADA, Jordi et al. Spectral processing. **DAFX Digital Audio Effects**, p. 393-444, 2011.
- BOSÍCIO, Paulo Gustavo; LAVIGNE, Marco Antônio. **Técnicas Fundamentais de Arco para Violino e Viola**. Rio de Janeiro: Apostila-Departamento de Piano e Instrumentos de Cordas, Instituto Villa-Lobos, Uni-Rio, 1999.
- BOYDEN, David Dodge. **The History of Violin Playing from its Origins to 1761: and its Relationship to the Violin and Violin Music**. Oxford University Press, 1990.
- BRITO, Armando A.; BRITO, Andrea Suzana de Sousa. I-O Violino: A sublimação da madeira. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3-4, p. 48-57, 2009.
- BROWN, Judith C.; PUCKETTE, Miller S. An efficient algorithm for the calculation of a constant Q transform. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 92, n. 5, p. 2698-2701, 1992.
- CAMPBELL, Murray; GREATED, Clive. **The musician's guide to acoustics**. OUP Oxford, 1987.

CASANOVA, Vitor. O Violino - Das origens à forma actual. **Educação e Tecnologia – Revista do Instituto Tecnológico da Guarda**, 1987.

CAUSSÉ, R. et al. Study of violin bow quality. In: **International Symposium on Musical Acoustics, Perugia, Italy (September 10–14 2001)**. 2001. p. 1-6.

CREMER, Lothar. **The Physics of the Violin**, translated by JS Allen. Cambridge, MA, 1984.

COOLEY, James W.; TUKEY, John W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics of computation**, v. 19, n. 90, p. 297-301, 1965.

COSTA, Ricardo Alexandre Silva da et al. **Reorganização espectral de sinais de fala na banda de [0, 2] kHz**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Telecomunicações)-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2002.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius; GARCIA, Maurício Freire. Análise espectral aplicada a um estudo comparativo do efeito de diferentes surdinas no violino. In: **2º Nas Nuvens... Congresso de Música, 2016: Anais**. 2016.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius. **Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na sonoridade de seis violinos: alterações na intensidade e no espectro harmônico**. Belo Horizonte, 2019. 195 f. Dissertação (Mestrado em Música). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius. Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na intensidade sonora de seis violinos. **Anais do SIMPOM**, v. 6, n. 6, 2020.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius; FREIRE, Sérgio; GARCIA, Maurício Freire; MOTA, Davi Alves. Estudo comparativo do efeito de três diferentes surdinas na LTAS de seis violinos. In: **Congresso da Anppom, XXX**, 2020, Manaus/AM. Disponível em: <http://anppom-congressos.org.br/index.php/30anppom/30CongrAnppom/paper/viewFile/231/139>. Acesso em: 19 jun. 2021.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius; FREIRE, Sérgio. Emprego de síntese por modelagem espectral para análise comparativa do residual não harmônico na sonoridade do violino com o uso de diferentes surdinas. In: **Congresso da Anppom, XXXI**, 2021, João Pessoa/PB. Disponível em: <https://anppom-congressos.org.br/index.php/31anppom/31CongrAnppom/paper/viewFile/637/374>. Acesso em: 06 maio 2022.

DA SILVA EVANGELISTA, Marcus Vinicius; FREIRE, S. Analysis of the influence of different construction factors of violin mutes on their effects: a methodological prospection based on the controlled variation of physical characteristics of the devices. In: **12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA 2020/2022)**, 2022, Florianópolis/SC. Disponível em: <https://www.fia2022.com.br/arearestrita/apresentacoes/8976.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

DAMAS, Carlos Alexandre Mourão de Carvalho. **Violino e tecnologia: origem e evolução tecnológica entre os séculos XV e XXI**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Artes Musicais –

Estudos em Música e Tecnologias)-Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

DAVIS, Gary; DAVIS, Gary D. **The sound reinforcement handbook**. Hal Leonard Corporation, 1989.

DE LA ROCHE, M. et al. **Encyclopédie Méthodique. Arts Et Métiers Mécaniques. Tome quatrième**. Panckoucke, 1785. Disponível em: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5839385p/f40.item.r=sourdine%20>. Acesso em: 18 maio 2018.

DONOSO, José Pedro et al. A física do violino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 2305.1-2305.21, 2008.

DOURADO, Henrique Autran. **O arco dos instrumentos de cordas**. Irmãos Vitale, 2008.

EDWARDS, Preston Hampton. A Method for the Quantitative Analysis of Musical Tone. **Physical Review (Series I)**, v. 32, n. 1, p. 23, 1911.

ELIE, Benjamin; GAUTIER, François; DAVID, Bertrand. Acoustic signature of violins based on bridge transfer mobility measurements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 136, n. 3, p. 1385-1393, 2014.

ESCAMEZ, Natalia Eugênia Sanchez et al. **Cantoras eruditas e populares: comparação de características vocais na canção Melodia Sentimental de Villa-Lobos**. 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado em Fonoaudiologia)-Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.

FETIS, Francois Joseph; STRADIVARI, Antonio. **Notice of Anthony Stradivari, preceded by historical and critical reseaches on the origin and transformations of bow instruments, and followed by a theoretical analysis of the bow, and remarks on Francis Tourte, tr. by J. Bishop**. 1864. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1S8DAAAQAAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=tourte+bow&ots=Cj7cRs2o-E&sig=zPhmyyjrL7fOtxx4Vbzf-2Q5NXE#v=onepage&q=tourte%20bow&f=false>. Acesso em: 28 maio 2018.

FLESCH, Carl. **The Art of violin playing, Book 1**, trad. Eric Rosenblith, New York, LLC, 2000.

FLETCHER, Harvey; MUNSON, Wilden A. Loudness, its definition, measurement and calculation. **Bell System Technical Journal**, v. 12, n. 4, p. 377-430, 1933.

FLETCHER, Neville H.; ROSSING, Thomas. **The physics of musical instruments**. Springer Science & Business Media, 2012.

FOMIN, Igor Mottinha et al. The violin bow. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, 2018.

GABRIELSSON, A.; JANSSON, E. V. An analysis of long-time-average-spectra of twentytwo quality-rated violins. **STL-QPSR**, v. 17, n. 2-3, p. 020-034, 1976.

- GILTAY, J. W.; HAAS, M. de. On the motion of the bridge of the violin. In: **KNAW, Proceedings**. 1909. p. 1909-1910.
- GOUGH, Colin. Science and the Stradivarius. **Physics World**, v. 13, n. 4, p. 27, 2000.
- GOUGH, Colin. The violin bow: Taper, camber and flexibility. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 6, p. 4105-4116, 2011.
- GOUGH, Colin. Violin acoustics. **Acoust. Today**, v. 12, n. 2, p. 22-30, 2016.
- GUETTLER, Knut. Bows, strings, and bowing. In: **The science of string instruments**. Springer, New York, NY, 2010. p. 279-299.
- GUILLOUX, Yves. **Le Monde de la Musique 197**, P. 50, 1996.
- HARNONCOURT, Nikolaus. **O diálogo musical: Monteverdi, Bach e Mozart**. Trad. Luiz Paulo Sampaio. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora, 1993.
- HARTMANN, William M. **Principles of musical acoustics**. Springer Science & Business Media, 2013.
- HELLER, Eric J. **Why you hear what you hear: an experiential approach to sound, music, and psychoacoustics**. Princeton University Press, 2013.
- HELMHOLTZ, H. L. F. von. **On the Sensations of Tone as a Psychological Basis for the Theory of Music**. Nova Iorque, NY: Dover Publications. 2a edição, 1862-1954.
- HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa [versão eletrônica]**. Elaborado no Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa S/C Ltda. **Rio de Janeiro: Editora Objetiva**, 2009.
- HUTCHINS, Carleen Maley. The physics of violins. **Scientific American**, v. 207, n. 5, p. 78-93, 1962.
- JANSSON, E. V.; SUNDBERG, Johan. Long-time-average-spectra applied to analysis of music. Part I: Method and general applications. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 34, n. 1, p. 15-19, 1975.
- JANSSON, E. V. Admittance measurements of 25 high quality violins. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 83, n. 2, p. 337-341, 1997.
- KENNAN, Kent Wheeler; GRANTHAM, Donald. **The technique of orchestration**. Prentice Hall, 2002.
- KISHI, Kenshi. Influence of the Weight of Mutes on Tones of a Violin Family. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. 5, p. 2916-2916, 1998.
- KOECHLIN, Charles. **Traité de l'orchestration**. Édition Max Eschig, 1954.

LIANG, Che-Yuan et al. Musical Offset Detection of Pitched Instruments: The Case of Violin. In: **ISMIR**. 2015. p. 281-287.

LOUGHRIDGE, Deirdre. Muted violins from Lully to Haydn. **Early Music**, v. 44, n. 3, p. 427-447, 2016.

LOUGHRIDGE, Deirdre. Timbre Before Timbre. **The Oxford Handbook of Timbre**, p. 269, 2021.

MAGNANI, Sérgio. **Comunicação e expressão na Linguagem da Música**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1989.

MASSMANN, Herbert; FERRER, Rodrigo. **Instrumentos musicales: artesanía y ciencia**. Dolmen, 1997.

McGRATTAN, A. 'The trumpet in funeral ceremonies in Scotland and England during the 17th century', **Historic Brass Society Journal**, vii, pp.168–84, 1995.

MED, Bohumil. **Teoria da música**. Brasília: Musimed, 1996.

MERSENNE, Marin. **Harmonie universelle: contenant la théorie et la pratique de la musique** (Paris, 1636). Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France. Disponível em: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k123738q/f3.image>. Acesso em: 01 jul. 2018.

MEYER, Jürgen. **Acoustics and the performance of music: Manual for acousticians, audio engineers, musicians, architects and musical instrument makers**. Springer Science & Business Media, 2009.

MILLER, J. E. Spectral measurements of violins. **J. Catgut Acoust. Soc.** 2(4), 1–4, 1993. In HUTCHINS, Carleen Maley; BENADE, Virginia (Ed.). **Research papers in violin acoustics, 1975-1993: with an introductory essay, 350 years of violin research**. Acoustical Society of America, 1997. Volume 1, Part II, A, paper 7, p. 87-91.

MIMO CONSORTIUM et al. **Revision of the Hornbostel-Sachs classification of musical instruments by the MIMO Consortium**. Disponível em: <https://cimcim.mini.icom.museum/resources/classification-of-musical-instruments/>. Acesso em 20 jul. 2023.

MORETTIN, Pedro A.; BUSSAB, Wilton O. **Estatística básica**. Saraiva Educação SA, 2017.

MOUSAVION, Sina; SARKAR, Suchetana. Empirical study of violin acoustics and its perception under various mutes. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 3, p. 1935-1935, 2015.

MOZART, Leopold. **Versuch einer gründlichen Violinschule**. Lotter, 1756.

MUTE. In: GROVE MUSIC ONLINE. Oxford Music Online, 2001. Disponível em: <https://www-oxfordmusiconline-com.ez27.periodicos.capes.gov.br/grovemusic/display/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000019478?&mediaType=Article>. Acesso em: 22 jul. 2023.

NADARAJAH, Myles Cameron. **The Mechanics of the Soundpost in the Violin**. 2019. 183f. Tese de Doutorado. University of Cambridge, Cambridge, 2019.

PARK, Tae Hong. **Introduction to digital signal processing: Computer musically speaking**. World Scientific, 2009.

PEETERS, Geoffroy. A large set of audio features for sound description (similarity and classification) in the CUIDADO project. **CUIDADO 1st Project Report**, v. 54, n. 0, p. 1-25, 2004.

PEREZ CARRILLO, Alfonso et al. Method for measuring violin sound radiation based on bowed glissandi and its application to sound synthesis. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 2, p. 1020-1029, 2011.

PINTO, Tiago de Oliveira. Som e música. Questões de uma antropologia sonora. **Revista de Antropologia**, v. 44, n. 1, p. 222-286, 2001.

QUANTZ, Johann Joachim. **Essai d'une méthode pour apprendre à jouer de la flute traversière: avec plusieurs remarques pour servir au bon goût dans la musique le tout éclairci par des exemples et par xxiv tailles douces**. Chez Chretien Frederic Voss, 1752.

PISTON, Walter. **Orchestration**. W. W. Norton & Company. 1955.

RAMAN, C. V. XLIII. On the “wolf-note” in bowed stringed instruments. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 32, n. 190, p. 391-395, 1916.

RAMAN, C. V. On the Alterations of Tone produced by a Violin-“Mute”. **Nature**, v. 100, n. 2501, p. 84-84, 1917.

RAMAN, C. V. LIX. On the wolf-note in bowed stringed instruments. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 35, n. 210, p. 493-496, 1918.

RAMAN, C. V. **Experiments with mechanically-played violins**. 1920.

REBELLO, Ana Isabel Ferreira. **Semelhanças e Disparidades no Ensino e na Execução da Viola e do Violino**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Artes, Área Musicologia)-Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RICHELET, Pierre. **Dictionnaire françois contenant les mots et les choses**. Genebra, Chez Jean Herman Widerhold, 1680. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France. Disponível em: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k509323/f979.item>. Acesso em: 29 jun. 2018.

ROSA, João Guimarães. **Grande Sertão: Veredas**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1972.

ROSSING, Thomas D.; MORRISON, Andrew. **The science of string instruments**. New York: Springer, 2010.

ROUSSEAU, Jean-Jacques. **Dictionnaire de musique**. Chez la veuve Duchesne, 1768. Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France. Disponível em: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k850406b.image>. Acesso em: 15 nov. 2018.

SARCH, Kenneth. Con Sordino: The Art of the Mute. **American String Teacher**, v. 67, n. 4, p. 24-29, 2017.

SAUNDERS, F. A. The mechanical action of violins. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 9, n. 2, p. 81-98, 1937.

SCHOONDERWALDT, Erwin; GUETTLER, Knut; ASKENFELT, Anders. Effect of the width of the bow hair on the violin string spectrum. In: **Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, SMAC**. 2003.

SEASHORE, Carl E. **Psychology of music**. New York and London: McGraw-Hill Book Company, 1938a.

SEASHORE, Carl E. The Psychology of Music. **Music Educators Journal**, v. 25, n. 3, p. 23, 1938b.

SERRA, Xavier; SMITH, Julius. Spectral modeling synthesis: A sound analysis/synthesis system based on a deterministic plus stochastic decomposition. **Computer Music Journal**, v. 14, n. 4, p. 12-24, 1990.

SIEMERS, Brian John. **The history and development of the double bass**. University of Cincinnati, 2001.

SILVA, Lilian Maria Pereira da et al. **Extratos do tratado sobre os princípios fundamentais para tocar violino de Leopold Mozart: tradução e análise**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado em Música, área de concentração em Musicologia, linha de pesquisa Estética)-Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

TAJIMI, Tomotaka et al. ACF Analysis over the Open Strings' Sound of a Violin with and without various mutes. **UK Institute of Acoustics Day Meeting Sheffield**, 2011.

TEMPELAARS, Stan. **Signal processing, speech and music**. Routledge, 2014.

TYNDALL, A. M.; WHITE, G. W. On the "Wolf-Note" of the Violin and Cello. **Nature**, v. 98, n. 2446, p. 29-29, 1916.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: eletromagnetismo**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2009.

ZWICKER, Eberhard; FASTL, Hugo. **Psychoacoustics: facts and models**. Springer Science & Business Media, 2006.

WIESSMEYER, Paul; WIESSMEYER, William B. **Bowed stringed instrument mute with acoustical internal cavities**. U.S. Patent n. 10,847,123, 24 nov. 2020.

WOODHOUSE, Jim. On the "bridge hill" of the violin. **Acta acustica united with acustica**, v. 91, n. 1, p. 155-165, 2005.

WOODHOUSE, Jim. The acoustics of the violin: a review. **Reports on Progress in Physics**, v. 77, n. 11, p. 115901, 2014.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO – USO DE SURDINAS EM INSTRUMENTOS DE CORDAS

QUESTIONÁRIO – USO DE SURDINAS EM INSTRUMENTOS DE CORDAS

O presente questionário consiste em uma sondagem inicial a respeito do uso de surdinas entre instrumentistas de cordas. A sondagem faz parte de uma pesquisa de doutorado desenvolvida no Programa de Pós-graduação da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais, intitulada "Utilização de parâmetros acústicos no desenvolvimento de surdinas de violino: em busca de um planejamento objetivo de seus efeitos na sonoridade do instrumento", que investiga o funcionamento das surdinas para violino por meio da análise acústica de seus efeitos, visando uma melhor compreensão e aperfeiçoamento desses dispositivos.

Autor: Marcus Vinícius da Silva Evangelista

Orientador: Sérgio Freire Garcia

*Obrigatório

1. E-mail *

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA

Título da pesquisa: "Utilização de parâmetros acústicos no desenvolvimento de surdinas de violino: em busca de um planejamento objetivo de seus efeitos na sonoridade do instrumento"

Nome do pesquisador: Marcus Vinícius da Silva Evangelista

Nome do orientador: Sérgio Freire Garcia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais - Programa de Pós-Graduação da Escola de Música

e-mail para contato: marcusvsmv@gmail.com

1. Natureza da pesquisa: a sra. (sr.) está sendo convidada (o) a participar desta pesquisa respondendo ao questionário "USO DE SURDINAS EM INSTRUMENTOS DE CORDAS", que tem como finalidade realizar uma sondagem inicial a respeito do uso de surdinas entre instrumentistas de cordas.
2. Participantes da pesquisa: instrumentistas de cordas, estudantes e profissionais, em atividade.
3. Envolvimento na pesquisa: ao participar deste estudo a sra. (sr.) permite que o pesquisador faça uso dos resultados obtidos a partir dos dados oriundos das respostas do questionário em questão. A sra. (sr.) tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase de pesquisa, sem qualquer prejuízo. Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do e-mail fornecido acima.
4. Sobre o questionário: a pesquisa consiste em responder a um questionário de múltipla escolha, com alguns campos para complemento de respostas, com o objetivo de fazer um levantamento inicial a respeito da utilização de surdinas em instrumentos de cordas e da percepção dos instrumentistas sobre as mesmas.
5. Riscos e desconforto: a participação nesta pesquisa não traz complicações legais nem quaisquer desconfortos, visto que todas as informações prestadas não expõem a identidade do respondente. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua saúde e dignidade.
6. Confidencialidade: todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente o pesquisador e o orientador terão conhecimento dos dados.
7. Benefícios: ao participar desta pesquisa a sra. (sr.) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações relevantes acerca do uso de surdinas para cordas, contribuindo para a pesquisa sobre surdinas e acústica dos instrumentos de arco.
8. Pagamento: a sra. (sr.) não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação voluntária.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa.

2. Eu, de forma livre e esclarecida, aceito participar da presente pesquisa e da divulgação dos dados obtidos, de acordo com os termos apresentados acima. *

Marcar apenas uma oval.

- aceito
- não aceito

QUESTIONÁRIO - USO DE SURDINAS EM INSTRUMENTOS DE CORDAS

3. Nome: *

4. 1. Instrumento principal que toca: *

Marcar apenas uma oval.

- violina
 viola
 violoncelo
 contrabaixo

5. 2. Toca algum OUTRO Instrumento de arco?

Marque todas que se aplicam.

- violino
 viola
 violoncelo
 contrabaixo

6. 3. Engajamento: *

Marque todas que se aplicam.

- estudante
 profissional

7. 4. Locais de estudo e/ou trabalho:

8. 5. Há quantos anos pratica o instrumento? *

9. 6. Você utiliza surdina de estudo (abafador)? *

Marcar apenas uma oval.

- sim
 não

10. Se sim, o abafador é feito de:

Marcar apenas uma oval.

- borracha
 metal
 Outro: _____

11. Considera o efeito de atenuação da sonoridade obtido com o abafador satisfatório?

Marcar apenas uma oval.

- sim
 parcialmente
 não

12. Considera que o abafador descaracteriza excessivamente a sonoridade do instrumento?

Marcar apenas uma oval.

- sim
 parcialmente
 não

13. 7. Você experimentou mais de um tipo de surdina antes de comprar a que utiliza para performance? *

Marcar apenas uma oval.

- sim
 Não

14. 8. Qual(is) o(s) principal(is) critério(s) para a escolha de sua surdina de performance? *

Marque todas que se aplicam.

- disponibilidade para compra
 indicação de terceiros
 praticidade de uso
 sonoridade obtida
 valor
 Outro: _____

15. 9. Você utiliza mais de uma surdina para performance? *

Marcar apenas uma oval.

- sim
 Não

16. Se sim, qual o principal critério para a escolha?

Marcar apenas uma oval.

- o repertório a ser executado
 formação instrumental com a qual será realizada a performance
 Outro: _____

17. 10. De qual material é feita a surdina de performance que você mais utiliza? *

Marcar apenas uma oval.

- borracha/plástico
- madeira
- metal
- Outro: _____

18. 11. Você considera que um único tipo de surdina é adequado para todo o repertório de seu instrumento? *

Marcar apenas uma oval.

- sim
- não

19. observações:

20. 12. Você já discutiu com os outros membros dos conjuntos com os quais toca a respeito de surdinas? *

Marcar apenas uma oval.

- sim
- Não

21. Se sim, já houve alguma ocasião em que o grupo deliberou pela utilização de um mesmo tipo de surdina para todo o conjunto?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

22. Se sim, qual o tipo de formação:

Marque todas que se aplicam.

quarteto de cordas

orquestra de câmara

orquestra sinfônica

Outro: _____

23. 13. Caso deseje acrescentar algum comentário a respeito da sua prática com surdinas, utilize o espaço abaixo:

O nosso muito obrigado pela sua participação!

APÊNDICE B – PROTOCOLO DE EXECUÇÃO INSTRUMENTAL PARA AMOSTRAGEM DE ÁUDIO DA PESQUISA



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música



Pesquisa de Doutorado: “Utilização de parâmetros acústicos no desenvolvimento de surdinas de violino: em busca de um planejamento objetivo de seus efeitos na sonoridade do instrumento”

Orientador: Sérgio Freire

Doutorando: Marcus Vinicius da Silva Evangelista

Protocolo de execução instrumental para amostragem de áudio da pesquisa:

Objetivo: gravar em áudio amostras da sonoridade do violino sem surdina e com as diferentes surdinas e configurações de uso que serão analisadas, executadas por diferentes instrumentistas, em dois violinos diferentes, **sob condições controladas**, que permitam um estudo comparativo entre os áudios registrados nas diferentes condições de estudo;

Modelo de amostragem: cada amostra consistirá de uma sequência de oito glissandos por corda, com quatro segundos de duração, ascendentes e descendentes, alternadamente. Assim, as amostras incluirão 32 glissandos cada, distribuídos pelas quatro cordas. Os glissandos ascendentes começam na corda solta e terminam logo antes de sua oitava, onde se iniciam os glissandos descendentes que terminam logo antes da corda ser solta novamente, exceto para a corda Mi, onde a mesma sequência é delimitada pelo Si⁵¹, uma décima segunda acima. As amostras, portanto, abarcam do Sol² ao Si⁵;

Procedimento para a amostragem:

- as gravações serão realizadas, preferencialmente, no LaPIS (Laboratory for Performance with Interactive Systems), na sala 2011, da Escola de Música da UFMG, segundo um protocolo específico de registro de áudio (microfone utilizado e seu

¹ Considera-se na pesquisa a numeração de oitavas adotada no Brasil, na qual as notas correspondentes às cordas soltas do violino são Mi⁴, Lá³, Ré³ e Sol², sendo o Lá³ afinado em 440Hz.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música



posicionamento no instrumento, equipamentos e programas definidos e seus parâmetros);

- cada instrumento a ser amostrado será afinado com auxílio de um afinador eletrônico, corda por corda, no padrão de afinação temperada, com diapasão em 440Hz para o Lá4; os instrumentos deverão estar com cordas com pelo menos cinco dias de uso, que não deverão ser substituídas ao longo das coletas;
- será utilizado em todas as amostras um mesmo arco, na vareta do qual serão feitas três marcas, para maior sincronização da velocidade de deslocamento do arco com a marcação do metrônomo, dividindo a extensão da crina do mesmo em quartos (da extremidade do arco até a primeira marca, desta à segunda marca/meio do arco, desta à terceira marca e desta à extremidade oposta);
- a cada sete amostras será passada uma mesma resina em toda a extensão da crina, duas vezes, uma em cada sentido do arco, alternadamente; após a aplicação da resina, a primeira amostra será na condição sem surdina e as outras seis com a utilização de diferentes surdinas;
- cada músico deverá registrar, para cada condição de estudo com surdina, duas vezes o modelo de amostragem (uma vez iniciando com o arco para baixo e a outra iniciando com o arco para cima) em cada um dos dois violinos selecionados para a amostragem da pesquisa;
- as amostras sem surdina serão utilizadas como "condição de controle" e deverão ser registradas iniciando alternadamente com o arco para baixo e para cima a cada repetição;
- os executantes farão as gravações utilizando um fone de estúdio, por meio do qual ouvirão o metrônomo a 60 BPM (batidas por minuto), com quatro batidas para cada glissando;
- no início de cada amostra haverá quatro batidas de metrônomo, para preparação do executante, que deverá iniciar o primeiro glissando na quinta batida, portanto;



- cada executante deverá tocar sentado, sem nenhum vibrato (sonoridade o mais contínua possível), utilizando o arco inteiro, inclinando-se a vareta do mesmo o mínimo possível, mantendo o ponto de contato fixo a meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete, o mais forte possível para as condições de ponto de contato e velocidade de arco estabelecidas, procurando sincronizar a primeira batida de cada glissando com o início da arcada nas extremidades do arco e as demais três batidas com as marcas feitas ao longo da vareta do arco, delimitando seus quartos, de maneira a manter-se a velocidade de deslocamento do arco o mais estável possível;
- para maior regularidade dos glissandos, os executantes devem procurar sincronizar a terceira batida do metrônomo com a quarta aumentada em relação à corda solta (Dó# na corda Sol, Sol# na corda Ré e Ré# na corda Lá), para as cordas mais graves, nas quais os glissandos tem uma oitava de extensão, e com a sexta maior em relação à corda Mi solta (Dó#), cujo glissando tem a extensão de uma décima segunda;
- a sequência de glissandos deverá ser tocada, de maneira contínua, das cordas graves para as agudas:

Modelo de amostragem com glissandos

$\text{♩} = 60$

Sol Sol

Sol Ré

Sol Lá

Sol Mi

Critérios para a definição do protocolo:

Considerou-se para a definição do presente protocolo a relação entre as três variáveis básicas na utilização do arco na execução dos instrumentos de cordas friccionadas: **velocidade do arco, pressão do arco e ponto de contato do arco com a corda**. A alteração de uma ou mais dessas variáveis implica em alteração nas características do som gerado no instrumento, tanto em relação à intensidade obtida, quanto em relação ao timbre.

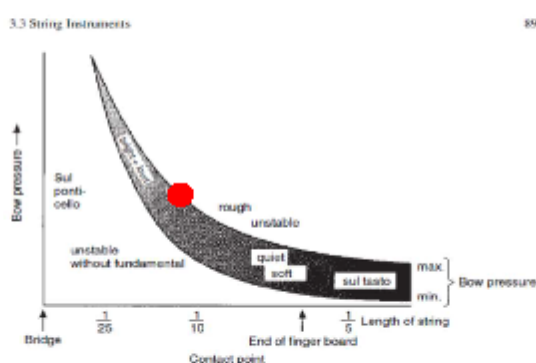


Figura 1 – Diagrama de Schelleng: relação entre a pressão do arco e o ponto de contato com a corda para uma velocidade de deslocamento constante. Como se pode observar, tocando-se próximo ao cavalete, por exemplo, é necessária maior pressão do arco, e se obtém um som mais brilhante. O ponto vermelho representa, aproximadamente, o ponto de contato que será adotado nas amostras.

Tendo-se em mente isto, o presente protocolo fixou duas das variáveis: o ponto de contato (definido pela instrução de mantê-lo fixo a meio da distância entre o fim do espelho e o cavalete) e a velocidade do arco (fixada pela obrigatoriedade de utilizar-se rigorosamente toda a extensão do arco em cada glissando, seguindo-se o metrônomo em 60 BPM); quanto à terceira variável, a pressão exercida com o arco sobre a corda, esta estará condicionada pelos limites impostos pelas outras duas, a partir da instrução dada aos sujeitos de tocar o mais forte possível, dentro das condições estabelecidas. Como foi definido por Schelleng em estudo de 1974, para uma dada velocidade de arco, existe um limite de pressão mínima e máxima suportada em um dado ponto de contato (fig. 1);

Para o perfeito funcionamento da amostragem é necessário, portanto, máxima atenção dos sujeitos participantes em relação a seguirem as diretrizes básicas: utilizar toda a extensão



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música



do arco em sincronia com o metrônomo, mantendo o ponto de contato estabelecido e tocar o mais forte possível para essas condições!

Em nome de todos os envolvidos na pesquisa, agradecemos desde já a colaboração voluntária de todos os sujeitos participantes!

Marcus Vinicius

APÊNDICE C – DEMONSTRAÇÃO EM PERFORMANCE ARTÍSTICA DA SURDINA MODULAR MULTIFUNCIONAL

Link para acesso às gravações: <https://musica.ufmg.br/lapis/demonstracao-em-performance-artistica-da-surdina-modular-multifuncional/>

44 Duos for Two Violins (1931)

Compositor: Béla Bartók (1881-1945)

Performance: Antônio Dimas Generoso e Maicon Alexandre Pereira Barbosa²²¹

➤ 7. walachian song

2 repetições:

- sem surdina;
- utilização de dois módulos de resina: primeira voz do lado das cordas agudas, segunda voz do lado das graves;

➤ 10. ruthenian song

3 repetições:

- sem surdina;
- primeira voz um módulo de resina, segunda voz dois módulos de metal;
- primeira voz dois módulos de metal, segunda voz um módulo de resina;

²²¹ Ambos os violinistas são graduandos do Curso de Música, Bacharelado em Violino, da Escola de Música da UFMG, alunos do Professor Ayran Nicodemo.

➤ **16. burlesque**

4 repetições:

- um módulo de metal;
- dois módulos de metal;
- três módulos de metal;
- sem surdina;

➤ **22. mosquito dance**

2 repetições:

- surdina tourte;
- um módulo de resina com preenchimento interno de borracha em posição central nas duas vozes;

➤ **23. bride's farewell**

2 repetições:

- sem surdina;
- primeira voz três módulos de resina com contato com o cavalete apenas do dente central e segunda voz três módulos de resina com contato com o cavalete com os dois dentes laterais;

➤ **35. ruthenian kolomeika**

2 repetições:

- sem surdina;
- dois módulos de resina com contato com o cavalete apenas de um dente, na primeira voz, do lado das cordas graves, na segunda voz na posição central;

Na surdina – para violino só

Composição e performance: prof. Ayran Nicodemo (composição feita especialmente para a defesa)

1ª sequência:

- sem surdina;
- utilização de 3 dentes de resina:
 - contato com os três dentes;
 - contato com dois dentes;
 - contato com um dente;

2ª sequência:

- sem surdina;
- utilização de 1 dente de metal em três posições;

3ª sequência:

- sem surdina;
- utilização de 2 dentes de resina intercalados com 1 de metal;
- utilização de 2 dentes de metal;
- utilização de 1 dente de resina com preenchimento de borracha;

ANEXO A – LISTA DE PATENTES DE SURDINAS

As patentes estão listadas em ordem crescente de data de registro.

- BRAUN, A. F. H. **Damper for violins**. U.S. Patent n. 48,648, Patented 11 July 1865.
- ALBERT, C. F. **Violin. Attachments**. U.S. Patent n. 149,702, Patented 14 Apr. 1874.
- ALBERT, C. F. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 335,872, Patented 9 Feb. 1886.
- THOMPSON, W. **Muffling attachment for violins**. U.S. Patent n. 417,292, Patented 19 Dec. 1889.
- AMIME, J. H. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 433,192, Patented 29 July 1890.
- GENESE, D. **Mute for musical instruments**. U.S. Patent n. 480,578, Patented 9 Aug. 1892.
- HOEFT, H. W. **Violin mute**, U.S. Patent n. 516,093, Patented 6 Mar. 1894.
- BINGHAM, W. **Violin mute**. U.S. Patent n. 538,405, Patented 30 Apr. 1895.
- WEGMANN JR., E. **Mute for string instruments**. U.S. Patent n. 551,067, Patented 10 Dec. 1895.
- BINGHAM, W. **Violin mute operator**. U.S. Patent n. 581,055, Patented 20 Apr. 1897.
- GLASSER, L. **Mute**. U.S. Patent n. 632,407, Patented 5 Sept. 1899.
- REMALIA, G. W. **Mute**. U.S. Patent n. 683,496, Patented 1 Oct. 1901.
- FISCHER, J. H. **Violin mute**. U.S. Patent n. 689,475, Patented 24 Dec. 1901.
- BARGINDE, Ewald. **Device for muting violins**. U.S. Patent n. 714,658, 2 Dec. 1902.
- ISTAS, Fernand. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 759,375, 10 May 1904.
- MITCHELL, John. **Violin-mute**. U.S. Patent n. 881,480, 10 Mar. 1908.
- MITCHELL, John. **Violin-mute**. U.S. Patent n. 885,067, 21 Apr. 1908.
- ULBRICH, Samuel. **Violin-mute**. U.S. Patent n. 911,853, 9 Feb. 1909.
- YUTZY, William C. **Mute for violins**. U.S. Patent n. 917,512, 6 Apr. 1909.
- ANNE, Berthe Anne Andraud Born Berthe et al. **Mute for violins and other stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,125,929, 26 Jan. 1915.
- OLMEDO, Rafael. **Violin-mute operator**. U.S. Patent n. 1,215,973, 13 Feb. 1917.
- VANDERHOOF, Herbert H. **Violin-mute**. U.S. Patent n. 1,344,968, 29 June 1920.
- CARLO, Badalamenti. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,333,827, 16 Mar. 1920.
- BERGEN, Charles B. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,416,780, 23 May 1922.

- LOUIS, Kozelek. **Violin mute**. U.S. Patent n. 1,518,935, 9 Dec. 1924.
- ZAHN, Lorenz J. **Violin-bow guide and mute**. U.S. Patent n. 1,508,830, 16 Sept. 1924.
- EMIL, Kresse. **Mute holder**. U.S. Patent n. 1,518,264, 9 Dec. 1924.
- GEORGE, Woelber. **Mute**. U.S. Patent n. 1,549,946, 18 Aug. 1925.
- FRANK, Kuba. **Violin mute**. U.S. Patent n. 1,550,079, 18 Aug. 1925.
- GROVER, Albert D. **Mute for musical stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,570,601, 19 Jan. 1926.
- ANTON, Pederson. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,604,657, 26 Oct. 1926.
- LESCH, Joseph W. **Violin mute**. U.S. Patent n. 1,611,208, 21 Dec. 1926.
- CONJURSKI, Leonard J. **Vibrating mute**. U.S. Patent n. 1,599,166, 7 Sept. 1926.
- MAXWELL, Pardy Louis. **Mute for violins and like musical instruments**. U.S. Patent n. 1,671,871, 29 May 1928.
- GIOVANNI, Longiaru. **Violin mute**. U.S. Patent n. 1,721,826, 23 July 1929.
- ROSE, William E. **Muting device for violins and the like**. U.S. Patent n. 1,722,680, 30 July 1929.
- ISRAEL, Lewis. **Stringed-musical-instrument mute**. U.S. Patent n. 1,772,725, 12 Aug. 1930.
- QUINTANA, Miranda Francisco. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 1,825,915, 6 Oct. 1931.
- WILLIAM, Bingham. **Violin mute**. U.S. Patent n. 1,829,469, 27 Oct. 1931.
- PAGE, Robert R. **Mute for stringed musical instruments**. U.S. Patent n. 1,809,311, 9 June 1931.
- CLAVERO, Manuel Sarrablo Y. **Mute for stringed musical instruments**. U.S. Patent n. 1,870,324, 9 Aug. 1932.
- CHAPIN, William H. **Mute**. U.S. Patent n. 1,843,444, 2 fev. 1932.
- QUINTANA, Miranda Francisco. **Mute for stringed musical instruments**. U.S. Patent n. 2,030,220, 11 Feb. 1936.
- SYDNEY, Skamser Vern. **Mute**. U.S. Patent n. 2,090,876, 24 Aug. 1937.
- WARNER, Maurice A. **Mute for stringed instruments**. U.S. Patent n. 2,175,007, 3 Oct. 1939.
- LINO, Bartoli. **Mute holder**. U.S. Patent n. 2,184,790, 26 Dec. 1939.
- VAN HAM, Harry L. **Mute for violins**. U.S. Patent n. 2,198,297, 23 Apr. 1940.
- AKIBO, Gusman. **Attachment for violins and the like**. U.S. Patent n. 2,240,696, 6 May 1941.
- MAX, Rice. **Violin mute and amplifying device**. U.S. Patent n. 2,229,189, 21 Jan. 1941.
- LEONARD, Sofo. **Violin**. U.S. Patent n. 2,265,456, 9 Dec. 1941.

- KINGMAN, Russell B. **Mute for stringed musical instruments.** U.S. Patent n. 2,388,550, 6 Nov. 1945.
- KINGMAN, Russell B. **Mute for stringed musical instruments.** U.S. Patent n. 2,386,899, 16 Oct. 1945.
- KINGMAN, Russell B. **Stringed instrument mute.** U.S. Patent n. 2,388,551, 6 Nov.
- KINGMAN, Russell B. **Mute for stringed musical instruments.** U.S. Patent n. 2,405,700, 13 Aug. 1946.
- FREDERICK, Gosparlin. **Adjustable mute.** U.S. Patent n. 2,447,939, 24 Aug. 1948.
- INGRAM, Cleveland. **Violin ring mute.** U.S. Patent n. 2,483,880, 4 Oct. 1949.
- KARL, Schuh. **Practice mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 2,475,055, 5 jul. 1949.
- FAWICK, Thomas L. **Mute for musical instruments.** U.S. Patent n. 2,483,268, 27 Sept. 1949.
- STANLEY, Ohab. **Mute for string instruments.** U.S. Patent n. 2,495,343, 24 Jan. 1950.
- FITZWATER, Ezra M.; SOBEL, Loren D. **Mute for stringed musical instruments.** U.S. Patent n. 2,525,406, 10 Oct. 1950.
- NYHAGEN, Barney R. **Violin mute and resin holder.** U.S. Patent n. 2,647,428, 4 Aug. 1953.
- DAVIS, Shuman. **Mute.** U.S. Patent n. 2,689,499, 21 Sept. 1954.
- MEIR, Goldberger Erno; JEHUDI, Menuhin. **Damping attachment for string instruments.** U.S. Patent n. 2,765,692, 9 Oct. 1956.
- SI-HON, Ma. **Mute for a stringed instrument.** U.S. Patent n. 2,863,350, 9 Dec. 1958.
- PHILLIPS, Glenn U. **Violin bow guide.** U.S. Patent n. 3,306,150, 28 Feb. 1967.
- WEISS, Sidney A. **Mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 3,489,051, 13 Jan. 1970.
- KASTON, Henryk. **Mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 3,552,255, 5 Jan. 1971.
- DUNLAP, Daniel. **Mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 4,024,788, 24 May 1977.
- RHODES, Mordy M. **Fixedly mounted mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 4,173,165, 6 Nov. 1979.
- GOLDNER, Richard. **Mute for stringed instruments.** U.S. Patent n. 4,449,438, 22 May 1984.
- JABLONSKI, Vincent. **Mute for string musical instrument.** U.S. Patent n. 4,667,560, 26 May 1987.
- BECH, Terence R. **Magnetic mute system for violin family music instruments.** U.S. Patent n. 4,773,296, 27 Sept. 1988.
- JABLONSKI, Vincent. **Musical string instrument mute.** U.S. Patent Application n. 06/844,273, 27 June 1989.
- MURAKAMI, Kazuo. **Mute acoustic stringed musical instrument having damping bridge.** U.S. Patent n. 6,031,164, 29 Feb. 2000.
- HOLLANDER, Jane F. **Mute for stringed instrument.** U.S. Patent n. 6,872,875, 29 Mar. 2005.

HSU, Roger. **Practice mute for string instruments**. U.S. Patent Application n. 11/774,116, 8 Jan. 2009.

WIESSMEYER, Paul. **Mute for bowed stringed instruments**. U.S. Patent n. 7,906,716, 15 Mar. 2011.

WIESSMEYER, Paul; WIESSMEYER, William B. **Bowed stringed instrument mute with acoustical internal cavities**. U.S. Patent n. 10,847,123, 24 nov. 2020.