

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FABIANA MOURA COELHO

**A INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DO TRATO VOCAL NA
SONORIDADE DA FLAUTA**

São Paulo

2014

FABIANA MOURA COELHO

**A INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DO TRATO VOCAL NA
SONORIDADE DA FLAUTA**

Tese apresentada à Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Música.

Área de Concentração: Musicologia

Linha de Pesquisa: História, Estilo e Recepção

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta

São Paulo

2014

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Coelho, Fabiana Moura

A influência da configuração do trato vocal na sonoridade da flauta / Fabiana Moura Coelho. -- São Paulo: F. Coelho, 2014.

121 p.: il. + CD.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Música - Escola de Comunicações e Artes / Universidade de São Paulo.

Orientador: Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta

Bibliografia

1. flauta 2. timbre 3. trato vocal 4. acústica 5. sonologia I. Iazzetta, Fernando Henrique de Oliveira II. Título.

CDD 21.ed. - 780

Folha de Aprovação

Fabiana Moura Coelho

A influência da configuração do trato vocal na sonoridade da flauta

Tese apresentada à Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Música.

Área de Concentração: Musicologia

Linha de Pesquisa: História, Estilo e Recepção

Aprovado em 09 de maio de 2014.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta – orientador

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura:

Prof. Dr. Jonas Manzolli

Instituição: Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Assinatura:

Prof. Dr. Maurício Freire Garcia

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Assinatura:

Prof. Dr. Regis Rossi Alves de Faria

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura:

Prof. Dr. Marcelo Gomes de Queiroz

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Dizem que a construção de uma tese é um trabalho que se faz sozinho. Pode ser que isso seja verdade em alguns casos. Mas não é verdade para esta pesquisa. A contribuição de algumas pessoas foi determinante para que se pudesse chegar ao resultado final exibido nesta tese. O texto que apresento é também delas.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro e aos seus pareceristas pela leitura atenciosa do projeto e dos relatórios (Processo nº 2010/06510-2).

Ao Programa de Pós Graduação em Música da ECA/USP pelas condições de realização da tese.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta, pela confiança de que seria possível realizar este trabalho e a todos os professores e colegas do Mobile/NuSom, que acompanharam de perto a construção desta tese.

Ao Luis Carlos de Oliveira, meu amigo Tu desde a graduação, pelas indicações bibliográficas, explicações de questões matemáticas e “tradução” de textos com fórmulas incompreensíveis para mim.

Ao Borys Duque, que se dedicou à construção do experimento como se fosse seu próprio trabalho. Pelas horas de testes, colagens, furações e engenhocas, sempre com muita competência e bom humor.

Ao Rodolfo Thomazelli, pelas medições de impedância dos tratos vocais e pelas valiosas trocas de experiências na pesquisa em acústica musical.

Ao Luiz Rogério Vallim Costa, pelo auxílio na construção do primeiro modelo de boca/embocadura para o experimento.

Aos funcionários do Departamento de Música da ECA/USP, em especial ao Pedro Paulo Santos, pelo auxílio nas gravações e fotografias do experimento, e ao Osvaldo Rodrigues dos Santos, pela generosidade em ajudar com ferramentas.

Aos professores e colegas do NICS, pelas sugestões e auxílio na análise das primeiras amostras e por terem, há anos, apresentado a mim os caminhos da

pesquisa. Ter a oportunidade de passar os quatro anos da graduação no NICS foi algo determinante para que o trabalho que faço hoje.

À minha extensa família e aos meus pais em especial, pelo apoio durante todos esses anos de estudo e pesquisa da flauta e por compreenderem que a incerteza da pós graduação era mais importante que a estabilidade.

Ao meu marido Edilson Vitorelli, pelo carinho com que escutou todas as minhas muitas ideias e perspectivas, pela torcida incontestada e, especialmente, por sempre acreditar em mim mais que eu mesma.

Experiment!

Make it your motto day and night.

Experiment,

And it will lead you to the light.

Cole Porter – *Small is Beautiful*

Resumo

O presente trabalho busca demonstrar de forma objetiva a influência das diferentes configurações de trato vocal na sonoridade da flauta. As alterações ocorridas na sonoridade do instrumento são, em geral, percebidas empiricamente pelos músicos a partir de imagens mentais acerca da configuração de seu trato vocal.

Todavia, não há, entre os flautistas, uma visão mais clara e objetiva dos fenômenos ocorridos para que as alterações de timbre se viabilizem. Isso se deve, em grande parte, ao considerável número de variáveis envolvidas, como o ângulo de incidência do jato de ar no orifício do instrumento, movimentos de mandíbula, pressão do jato, entre outros.

Considerando-se que as alterações de timbre são elemento essencial da interpretação musical e compõem não apenas o vocabulário técnico do instrumentista, mas, sobretudo, seu vocabulário criativo e sua sensibilidade musical, foi realizado um experimento que procurou mostrar com maior objetividade o papel do trato vocal nas alterações de timbre da flauta.

O experimento consistiu em um aparato composto por um fonte de ar, um tanque/pulmão, modelos de trato vocal, embocadura artificial e o instrumento. Os resultados foram gravados e, posteriormente, analisados e comparados às medidas de impedância dos protótipos de trato vocal construídos para o experimento. Foram também realizadas entrevistas qualitativas com flautistas profissionais e professores com larga experiência na execução e no ensino do instrumento, que agregaram elementos à análise.

A partir desses elementos, foram constatadas evidências contundentes de que as diferentes configurações do trato vocal são capazes de modificar a sonoridade da flauta.

Palavras-chave: flauta, trato vocal, timbre, sonoridade, sonologia, acústica

Abstract

The main objective of this research is to objectively demonstrate the influence of changes in the configuration of the vocal tract on the sound of the flute. These alterations are generally noticed empirically by musicians and are represented by mental images of the configuration of the vocal tract. The alterations of the vocal tract configuration are considered an important element of the musical interpretation.

Nevertheless, there is not a clear and objective perception among flutists of how the vocal tract works to influence the sound of the flute. This is due to the considerable number of variables that are involved in this process, such as the angle and the pressure of the air jet on the instrument, the movements of the jaw, among others.

In order to achieve the proposed objective, we designed an experiment whose main goal was to demonstrate the existence of vocal tract influence on the timbre of the flute. For this purpose we built an artificial blower that enables the elimination of the influence caused by modifications in the shape and position of lips and jaw. The results were recorded and analyzed in comparison with the measurement of the impedance of the prototypes of vocal tract that were built to the experiment.

Moreover, we also conducted interviews with professional flutists and professors with extensive experience on the field, to aggregate elements to the final analysis.

In conclusion, we were able to assert that there are compelling evidences that the different configurations of the vocal tract are able to modify the sound of the flute.

Key words: flute, vocal tract, timbre, sonority, sonology, acoustics

Resumen

El objetivo principal de esta investigación es demostrar objetivamente la influencia de los cambios en la configuración del tracto vocal en el sonido de la flauta. Éstas alteraciones generalmente son percibidas por los músicos y están empíricamente representada por las imágenes mentales de la configuración del tracto vocal. Las alteraciones de la configuración del tracto vocal son considerados un elemento importante de la interpretación musical.

Sin embargo, no existe una percepción clara y objetiva entre los flautistas de cómo funciona el tracto vocal para influir en el sonido de la flauta. Esto se debe a la cantidad de variables que están involucradas en este proceso , tales como el ángulo y la presión del chorro de aire en el instrumento, los movimientos de la mandíbula, entre otros.

Para lograr el objetivo propuesto, se diseñó un experimento cuyo objetivo principal era demostrar la existencia de influencia del tracto vocal en el timbre de la flauta. Para este fin se construyó un ventilador artificial que permite la eliminación de la influencia causada por modificaciones en la forma y posición de los labios y la mandíbula. Los resultados se registraron y analizaron en comparación con la medición de la impedancia del tracto vocal de los que prototipos se construyeron para el experimento.

Por otra parte, también llevamos a cabo entrevistas con flautistas profesionales y profesores con amplia experiencia en el campo, para agregar elementos al análisis final.

En conclusión, hemos sido capaces de demostrar que existen evidencias convincentes de que las diferentes configuraciones del tracto vocal son capaces de modificar el sonido de la flauta.

Palabras clave: flauta, tracto vocal , sonoridad, sonología, acústica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: à esquerda, experimento realizado, ao centro, detalhe da embocadura, à direita, trato vocal artificial feito em PVC (COELHO, 2006: 29, 31, 33).....	14
Figura 2: ilustração da posição da embocadura do flautista (TAFFANEL e GAUBERT, 1958: 4).....	17
Figura 3: posições de língua sugeridas por Michel Debost (1996: 43, 47 e 75)	18
Figura 4: trecho inicial da parte de flauta da peça <i>Oriental</i> , de Pattapio Silva, com a indicação “Imitando Oboé”. (SILVA, 2000: 14).....	18
Figura 5: esquema das vogais apresentadas por Chiba e Kajiyama (1941)	29
Figura 6: esquema adaptado do experimento realizado por Fritz (2004: 82)	35
Figura 7: esquema da boca artificial elaborada por Coltman (1973: 418). No modelo não estão representados os lábios construídos com massa de modelar	39
Figura 8: detalhes do instrumentista artificial elaborado por Wolfe <i>et al.</i> (2003:308) .	39
Figura 9: detalhes do modelo de embocadura elaborado por Sawada e Sabaka (1980: 1790).....	40
Figura 10: Os 80 discos de acrílico antes da montagem, organizados de acordo com a Tabela 3.	44
Figura 11: discos montados dentro do tubo de acrílico	44
Figura 12: montagem dos protótipos de trato vocal	45
Figura 13: protótipo de trato vocal correspondente à vogal /a/.....	45
Figura 14: resultado final dos cinco protótipos	45
Figura 15: modelo de embocadura A	47
Figura 16: modelo de embocadura B	48
Figura 17: gravação preliminar e posicionamento dos microfones.....	48
Figura 18: posição do primeiro e segundo formantes de seis vogais distintas para homens, mulheres e crianças. (KENT e READ, 2002: 106).....	49
Figura 19: detalhe da janela da ferramenta utilizada na aferição do centroide espectral.....	51
Figura 20: modelo do compressor utilizado no experimento	53

Figura 21: esquema inicial do experimento	54
Figura 22: esquema do experimento	55
Figura 23: montagem do experimento com suportes	56
Figura 24: sistema de molas para ajuste da embocadura	56
Figura 25: detalhe dos testes de vazamento dos encaixes	57
Figura 26: suporte da embocadura	58
Figura 27: posicionamento dos microfones	59
Figura 28: visão geral da montagem do experimento	59
Figura 29: Esquema do aparato utilizado na medição da impedância dos tratos vocais. Adaptada de Gibiat e Laloe (1990).	61
Figura 30: medições de impedância dos tratos vocais.	61
Figura 31: comportamento da frequência dos harmônicos da vogal /a/ nas cinco diferentes amostras gravadas.	63
Figura 32: parte superior: gravação da vogal /e/ com tanque/pulmão de 5 l. parte inferior: gravação da vogal /e/ com tanque/pulmão de 2,5 l.	64
Figura 33: valores dos dois primeiros formantes das vogais /i/, /a/ e /u/. (LIEBERMAN e BLUMSTEIN, 1988: 176)	67
Figura 34: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /a/.	68
Figura 35: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /e/.	69
Figura 36: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /i/.	69
Figura 37: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /o/.	70
Figura 38: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /w/.	70
Figura 39: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /a/.	72
Figura 40: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /e/.	72
Figura 41: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /i/.	73
Figura 42: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /o/.	74
Figura 43: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /w/.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: símbolos do Alfabeto Fonético Internacional para as transcrições fonéticas do português (HENRIQUE, 2009: 706)	30
Tabela 2: correspondência entre as vogais utilizadas no experimento de Chiba e Kajiyama (1941) e as vogais do Português, de acordo com o alfabeto fonético internacional.....	30
Tabela 3: medições do diâmetro de cada um dos pequenos anéis que formam o modelo de trato vocal (ARAI, 2001)	31
Tabela 4: medidas apresentadas por Fritz (2004: 45).....	42
Tabela 5: organização esquemática das gravações preliminares das primeiras 30 amostras.....	49
Tabela 6: valores (em Hz) dos quatro primeiros formantes em nota da região grave, com trato vocal posicionado de cinco diferentes formas.	50
Tabela 7: valores médios para o pico de fluxo expiratório (LEINER: 1963:88)	53
Tabela 8: volume dos modelos de trato vocal em mm ³	54
Tabela 9: frequências e amplitudes dos quatro primeiros harmônicos das cinco amostras gravadas com microfone 1 e trato vocal /a/	63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação e desenvolvimento da pesquisa.....	14
1.2 Objetivos e justificativa.....	16
REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 A pesquisa com instrumentos de sopro	21
2.2 O conceito de timbre	22
2.3 O trato vocal.....	23
2.4 Impedância Acústica	26
2.5 Estudos com protótipos de trato vocal	29
2.6 Pesquisas sobre a influência do trato vocal em instrumentos diversos	33
2.7 Estudos com embocaduras de instrumentos de sopro	37
2.8 Considerações finais.....	40
EXPERIMENTO	42
3.1 Construção dos tratos vocais	42
3.2 Construção da embocadura	46
3.3 Gravações preliminares	48
3.4 Montagem do experimento	52
3.5 Medição da impedância dos tratos vocais	60
RESULTADOS	62
4.1 Validação das amostras	62
4.2 Entrevistas	65

4.3 Impedância dos tratos vocais.....	67
4.4 Comparações.....	70
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
Anexo I: Tabelas e gráficos das medições de centroide espectral	84
Anexo II: Entrevistas.....	88
Anexo III: Gráficos das amostras finais	97
Anexo IV: Valores de frequência e amplitude das gravações.....	116
Anexo V: CD contendo as gravações analisadas	121

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e desenvolvimento da pesquisa

O presente trabalho se desenvolveu a partir da observação e vivência da autora acerca das alterações de timbre da flauta ocasionadas por mudanças na configuração do trato vocal do flautista. Essas alterações são, em geral, percebidas empiricamente pelos instrumentistas a partir de imagens mentais acerca da configuração de seu trato vocal.

Todavia, não há, entre os flautistas, uma visão mais clara e objetiva dos fenômenos ocorridos para que as alterações de timbre se viabilizem. Isso se deve, em grande parte, ao considerável número de variáveis envolvidas, como o ângulo de incidência do jato de ar no orifício do instrumento, movimentos de mandíbula, pressão do jato, entre outros.

Nesta pesquisa, foram propostos experimentos que pudessem mostrar com maior objetividade o papel do trato vocal nas alterações de timbre da flauta. O trabalho com esse tipo de experimento foi iniciado na pesquisa de mestrado da autora, desenvolvida na Universidade Federal de Minas Gerais.

Na ocasião, foi realizado um experimento com um trato vocal construído em PVC, no qual um anel metálico colocado no interior do tubo simulava as alterações do trato vocal. A esses elementos, adicionava-se uma embocadura rígida, construída em fibra de vidro.



Figura 1: à esquerda, experimento realizado, ao centro, detalhe da embocadura, à direita, trato vocal artificial feito em PVC (COELHO, 2006: 29, 31, 33).

Esse primeiro trabalho foi importante para enfatizar a relevância do trato vocal na sonoridade da flauta, mas contou com algumas dificuldades. Primeiramente, a embocadura rígida não permitia que a flauta fosse posicionada da forma mais próxima à que é utilizada na prática pelos flautistas. Apesar de encobrir parte do orifício da embocadura, o material rígido impedia a manipulação da estrutura dos lábios.

Outro aspecto que necessitava de ajustes era o controle da pressão do jato de ar que incidia no instrumento. Além disso, o ar era colocado diretamente no tubo do trato vocal de PVC, não havendo um tanque para controlar a diferença de volume.

O modelo de trato vocal utilizado, apesar de ter a vantagem de poder ser modificado durante as gravações, a partir do deslocamento do anel metálico em seu interior, por meio de um ímã colocado na parte externa, como mostrado à direita da figura 1, não correspondia a nenhum modelo conhecido de configuração de trato vocal. Assim, embora fosse possível estabelecer uma relação entre a posição do anel metálico e a configuração de trato vocal pretendida, a correspondência não era realizada como na bibliografia específica do tema, como Fritz (2004), Wolfe *et al.* (2003), ou Scavone (2003).

Dessa forma, no presente trabalho foram propostos experimentos que, além de isolar variáveis para perceber mais diretamente a influência do trato vocal na sonoridade da flauta, sanassem alguns dos problemas encontrados no experimento anterior. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que ajudou a apontar algumas saídas para as dificuldades percebidas.

Foi desenvolvido um conjunto de cinco diferentes configurações de trato vocal em acrílico, a partir da proposta de Chiba e Kajiyama (1941), que permitiu uma maior aproximação com configurações de trato vocal existentes. Esses protótipos passaram por uma medição de impedância, que nos forneceu dados objetivos acerca de suas competências.

No experimento final, foi utilizada uma embocadura flexível e um tanque/pulmão, o que auxiliou na captação das gravações. Além disso, entrevistas com flautistas profissionais e professores de flauta permitiram uma comparação entre os resultados do experimento e a efetiva utilização do trato vocal pelos músicos.

1.2 Objetivos e justificativa

O presente trabalho objetiva evidenciar a relação entre as alterações de timbre na flauta transversal e as diferentes configurações do trato vocal. Essa relação é comumente descrita pelos flautistas de forma empírica e utilizada na execução do repertório do instrumento.

Considerando-se a performance como parte da criação musical e elemento composto da criatividade interpretativa do instrumentista, o intérprete possui uma função criativa dentro da obra musical, que se manifesta precipuamente na performance. Dessa maneira, o intérprete não se posiciona passivamente frente ao processo de criação musical. Ele é parte integrante da ação transformadora, e suas escolhas interpretativas o transformam em interface do processo sonoro.

Nesse sentido, as alterações de timbre são elemento essencial da interpretação musical e compõem não apenas o vocabulário técnico do instrumentista, mas, sobretudo, seu vocabulário criativo e sua sensibilidade musical.

Os métodos de flauta tradicionais são, de maneira geral, mais focados na postura e posicionamento das mãos e, em alguns casos, também dos lábios do flautista. O posicionamento da língua e outros mecanismos internos é pouco discutido. Não raro, a língua é trabalhada no estudo dos diferentes tipos de ataque, não considerando sua possível mudança de posicionamento ao longo de uma nota ou de um trecho musical. Taffanel e Gaubert (1958), no tradicional método de flauta, tratam da posição da língua apenas na terceira parte do livro, ao sugerir a articulação “TE-RE”. Os autores afirmam:

Essa articulação deve ser feita com bastante rudeza; para obter essa rudeza é necessário enrijecer a língua, que baterá com força um pouco acima dos dentes. O ataque (TE) deve ser muito breve. Dessa forma se obterá a clareza e a o mordente do staccato dos violinistas. (TAFFANEL e GAUBERT, 1958: 90).

As ilustrações são também focadas na postura geral do corpo, posição dos braços e da cabeça, sem muitos detalhes, como fica evidenciado na figura a seguir.

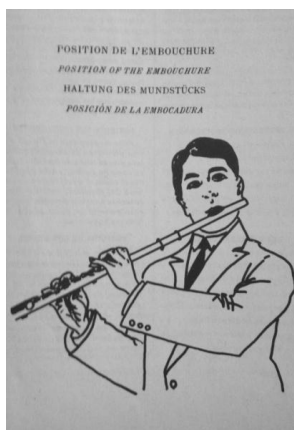


Figura 2: ilustração da posição da embocadura do flautista (TAFFANEL e GAUBERT, 1958: 4)

Michel Debost (1996), no livro “Une simple flûte”, faz algumas referências à posição da língua em diferentes tipos de ataques. As referências são acompanhadas de ilustrações, que dão orientações acerca do movimento a ser feito com a língua para os ataques “Tu” e “Ta”. As indicações demonstram uma maior preocupação com o posicionamento da língua e da boca como um todo, para além do simples “encaixe” dos lábios sobre a embocadura.

Isso pode ser entendido como um reflexo de uma preocupação crescente dos flautistas e dos métodos de ensino do instrumento com o que acontece antes dos lábios, com a posição da língua e de outros elementos que possam interferir no som da flauta. Embora presentes apenas no capítulo concernente aos diferentes tipos de ataque, é evidente o maior cuidado com que essas questões vêm sendo tratadas.

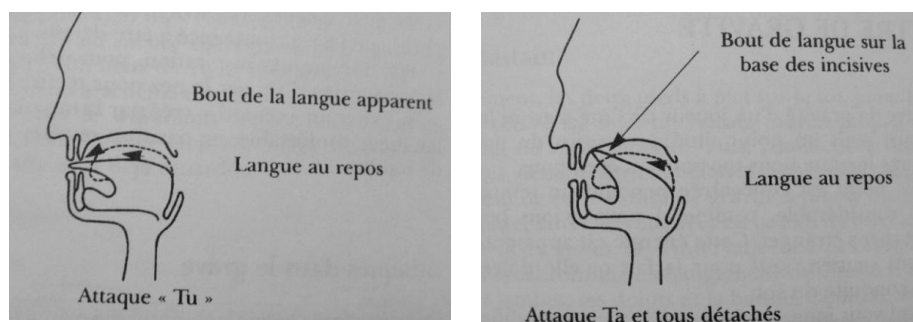


Figura 3a: posições de língua sugeridas por Michel Debost (1996: 43 e 47)

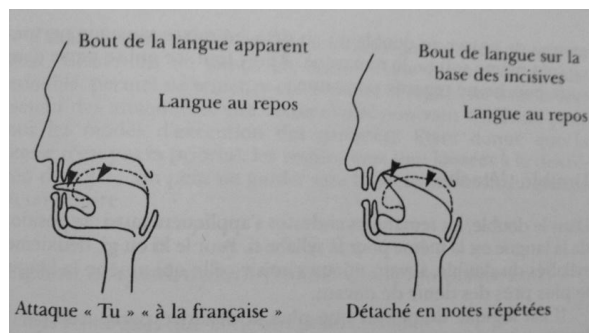


Figura 4b: posições de língua sugeridas por Michel Debost (1996: 75)

O referencial de timbre encontra-se com profusão na produção musical, em especial a partir do século XX, inclusive como recurso de construção melódico/harmônico. O flautista Maurício Freire Garcia (2002: 97) aponta, por exemplo, a utilização do timbre na construção motívica da obra “Density 21.5”, para flauta solo, de Edgard Varèse. Na peça “Oriental”, para flauta e piano, do flautista brasileiro Pattapio Silva, a parte da flauta traz, logo no início, a indicação “imitando oboé”, em referência expressa à qualidade do timbre que deve ser usado para a execução da obra.

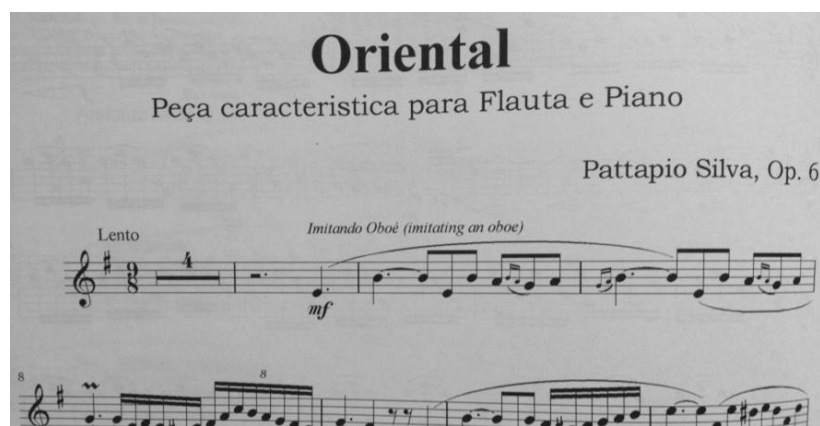


Figura 5: trecho inicial da parte de flauta da peça *Oriental*, de Pattapio Silva, com a indicação “Imitando Oboé”. (SILVA, 2000: 14)

No presente trabalho, aspectos técnicos do funcionamento dos mecanismos de alteração do timbre da flauta transversal a partir de alterações conscientemente realizadas no trato vocal são abordados considerando-se a perspectiva de que esses conhecimentos transcendem a esfera meramente técnica do instrumento,

estando presentes na prática da performance e compondo o conteúdo expressivo da sonoridade da flauta e do flautista.

Considerando-se que o grande número de variáveis envolvidas no processo de alteração da configuração do trato vocal durante a execução da flauta, a percepção objetiva das alterações ocorridas torna-se complexa. Portanto, a compreensão de como as modificações na configuração do trato vocal podem atuar no timbre da flauta possibilita um maior grau de interação do instrumentista com a flauta, permitindo não apenas a utilização consciente da técnica, como também a aplicação desse conhecimento na didática do instrumento.

Dessa forma, para que se possa observar de forma mais objetiva as alterações do trato vocal, sem que outros elementos, como a posição da embocadura ou movimentos de mandíbula, interfiram no resultado final, são realizados experimentos, que, com o isolamento de variáveis, são capazes de fornecer dados mais confiáveis.

Tais experimentos consistem em um protótipo que, a partir do ar trazido por um compressor e que passa por diferentes modelos de trato vocal construídos em acrílico e uma embocadura de látex, é capaz de gerar sons na flauta transversal. Assim, é possível trocar os modelos de trato vocal sem que se alterem outros elementos que compõem o experimento, possibilitando que as alterações ocorridas no som do instrumento possam ser consideradas como decorrentes da modificação no trato vocal.

A impedância dos tratos vocais construídos em acrílico também é medida, como forma de estabelecer as diferenças entre as configurações e de relacionar essas diferenças às alterações observadas no som da flauta.

Como forma de verificar a correspondência dos resultados obtidos nos experimentos, foram realizadas entrevistas com flautistas atuantes no Brasil, tanto em concertos e orquestras, quanto lecionando em universidades. Os flautistas discorreram sobre a utilização ou não do trato vocal como ferramenta para a alteração de elementos da sonoridade da flauta e das configurações de trato vocal mais utilizadas por eles.

Nesse sentido, embora se proponha a realização de experimentos, o objeto de estudo foca-se na relação músico-instrumento, considerando-se a perspectiva da influência do trato vocal no timbre da flauta, a partir de modificações conscientes do flautista.

REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo trata da investigação bibliográfica realizada durante a pesquisa. São tratados alguns temas e conceitos pertinentes ao trabalho e que auxiliaram na compreensão mais ampla e clara do objeto da desta pesquisa.

2.1 A pesquisa com instrumentos de sopro

A pesquisa sobre instrumentos de sopro tem seu início marcado em fins do século XIX, quando aspectos acústicos passam a ser alvo de estudo. Entretanto, essas pesquisas destacam-se por terem sido conduzidas fundamentalmente nas áreas das ciências exatas, tais como a física e a engenharia. O presente trabalho se insere na lacuna existente entre a atual produção bibliográfica na área e os músicos.

De maneira geral, os trabalhos que abordam temas relacionados à acústica dos instrumentos musicais são elaborados por profissionais de outras áreas do conhecimento, tais como físicos, matemáticos e engenheiros. São trabalhos especializados, de alta qualidade técnica, mas que não se lançam de forma efetiva ao fazer musical, não alcançando os que, ao que se pode perceber, seriam os destinatários imediatos do entendimento aprofundado dos instrumentos musicais: os próprios músicos.

O trabalho empírico com instrumentos musicais tem se mostrado como uma ferramenta bastante utilizada e com resultados positivos, como observa Oliveira *et al.* (2007:51)

Muitos trabalhos dedicados à síntese sonora de instrumentos musicais, como, por exemplo, Borin *et al.*, Keefe e Smith, abordam o assunto através da modelagem física. Apesar dos avanços tecnológicos na direção de hardwares mais eficientes, o esforço computacional destes modelos ainda é muito alto. Este fato estimulou a condução deste trabalho numa direção oposta, isto é, obter a síntese de tais instrumentos a partir de um modelo totalmente empírico. (OLIVEIRA *et al.*, 2007: 51)

O artigo “Aeroacoustics of Musical Instruments”, de Fabre *et al.* (2011), destaca diversos usos de sopradores artificiais, como em questões de qualidade industrial de instrumentos ou para simular como seria tocar instrumentos antigos, que não podem mais ser manuseados. Em adição a isso, destaca Fabre (2011: 4), “há um crescente esforço para se compreender o controle do instrumentista sobre os instrumentos de sopro”.

Nesse mesmo sentido, Wolfe *et al.* (2013: 323) destaca que o estudo das formas de atuação do instrumentista é mais interessante que o estudo do próprio instrumento e que o entendimento de como tocam os bons instrumentistas poderia auxiliar estudantes e professores de instrumento.

Dessa maneira, nota-se que há hoje um crescente interesse da literatura não apenas pelo funcionamento dos instrumentos, mas, especialmente, pela relação instrumento/instrumentista e a forma como este último é capaz de controlar e modificar o resultado final, ou seja, o som do instrumento.

2.2 O conceito de timbre

É interessante ressaltar que a conceituação de timbre é algo complexo, apresenta dificuldades na medição e definição dos parâmetros envolvidos, ainda não totalmente explicados. A ASA – *American Standard Association* – o define, de forma bastante simplificada, como o “atributo do sentido auditivo em termos do qual o ouvinte pode julgar que dois sons similarmente apresentados com a mesma intensidade e altura, são dissimilares” (RISSET e WESSEL, 1999).

Esse tipo de definição muito simplificada não atende ao que se pretende demonstrar no presente trabalho. Loureiro (2006) traz uma definição mais completa e aponta o que seriam os aspectos formadores da percepção de timbre, como, exemplificadamente,

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; 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 (LOUREIRO: 2006: 5)

O dicionário de conceitos chave de musicologia, de Beard e Gloag (2005), não traz o conceito de timbre entre os seus 89 conceitos chave. O conceito de interpretação também não faz referência ao timbre.

No presente trabalho, não se pretende trazer uma nova conceituação de timbre, o que, certamente, estaria fora do escopo pretendido. Foi adotada uma definição que entende que o timbre pode ser modificado a partir de um mesmo instrumento musical, num sentido comumente tratado como analogias referentes a *cor* e/ou *coloração* do som e apontado na escrita musical com curioso vocabulário associado a aspectos de caráter psicológico ou referências a outros instrumentos, como no caso da obra *Oriental*, de Pattapio Silva, em que a parte da flauta é iniciada com a indicação: “imitando oboé” (GARCIA, 2006).

Nesse sentido, embora se compreenda que a distribuição dos componentes espectrais e a estrutura dos formantes não englobem a totalidade dos aspectos assumidos na formação do timbre, são esses os elementos que podem definir parâmetros de análise mais acurados na perspectiva do experimento proposto, entendidos como modificadores da sonoridade do instrumento musical.

2.3 O trato vocal

O trato vocal é a estrutura que compreende, fisiologicamente, a parte superior do aparelho respiratório, incluindo desde as pregas vocais até os lábios. Henrique (2009:667) define o trato vocal como

termo usado para designar o conjunto das cavidades laríngea, faríngea, bucal e nasal que constituem a estrutura ressonadora do órgão da voz.(...) O tracto vocal tem uma função acústica semelhante à dos ressoadores de outros instrumentos musicais, como o violoncelo ou o fagote, com a particularidade de ser modificável. Se nos aerofones a forma do ressoador é fixa podendo apenas variar o comprimento através dos orifícios laterais ou das válvulas, na voz o tracto vocal praticamente não varia de comprimento

mas pode assumir diversas formas muito diferentes. A modificação da forma do tracto vocal permite a emissão de imensos sons diversificados, e é conseguida através da língua, posição dos lábios e dos dentes e do palato móvel. (HENRIQUE, 2009:667)

A forma de um trato vocal adulto assemelha-se, de maneira simplificada, a um tubo reto fechado em uma das extremidades. A média de comprimento de um trato vocal masculino é de 17 cm, com 3 cm de diâmetro, e as frequências de ressonância do tubo são dadas pela fórmula $F_n = (2n - 1)c / 4l$, na qual n representa um número inteiro que determina o número da ressonância, c , a velocidade do som, e l , o comprimento do tubo. Assim, temos que os primeiros picos de ressonância, a partir desse tubo, estão em 500, 1500, 2500, 3500, 4500 Hz. (KENT e READ, 2002; SUNDBERG, 1979 ; FANT, 1970).

Entende-se, ainda, que o fenômeno da produção vocal, e, em especial, da produção das vogais, pode ser estudado a partir de um modelo teórico denominado *fonte-filtro* (FANT, 1970), no qual os pulsos gerados nas pregas vocais são filtrados pelas cavidades acústicas do trato vocal. Como afirmam Kent e Read (2002: 18):

Normalmente, as vogais são sons produzidos com a vibração da laringe (de modo que a voz é a fonte de energia) e um aparelho relativamente aberto vocal que é moldado para produzir padrões particulares de ressonâncias (de modo que todo o trato vocal funciona como um filtro, ou de frequência seletiva de transmissão sistema). (KENT e READ, 2002:18)

No mesmo sentido, observa Story (2005):

Ações integradas de articuladores individuais facilitam a criação de ressonâncias acústicas variáveis no tempo que transformam o som gerado pela vibração ou turbulência das pregas vocais no fluxo das vogais e consoantes que compreendem a fala. (STORY, 2005)

Mostra-se, dessa maneira, que o trato vocal é capaz de transferir características ao som produzido na glote de acordo com sua configuração tridimensional. Essa transferência atua modificando a intensidade dos harmônicos nas frequências de ressonância. As zonas de ressonância em que o trato vocal intensifica determinados harmônicos são denominadas *formantes* e, de forma geral, os três primeiros formantes atuam na determinação da compreensão das vogais, sendo que os trabalhos sobre formantes nas vogais geralmente abordam os primeiros quatro ou

cinco formantes, considerando que as frequências emitidas nas pregas vocais estão, em sua maioria, abaixo dos 5kHz (FANT, KENT e READ).

Nesse sentido, afirmam Kent e Read (2002) que os formantes transformam o som original e, mesmo os formantes superiores, atuam modificando o sinal gerado originalmente. Segundo os autores:

tomados em conjunto, os formantes constituem a função de transferência¹ do trato vocal (...) os formantes superiores não podem ser negligenciados sem a introdução de erros na análise acústica do trato vocal. (KENT e READ, 2002: 24-32)

Ou seja, os formantes atuam no som emitido pelas pregas vocais, transformando-o; apenas os três primeiros formantes são suficientes para a inteligibilidade das vogais, mas os demais também atuam de forma considerável no som resultante.

Dessa maneira, ajustando-se as posições dos articuladores, tais como o palato e a língua, que configurariam a forma do trato vocal, filtra-se o sinal recebido das pregas vocais, modificando a vogal produzida. O espectro irradiado, depois de filtrado pelo trato vocal, apresenta características tanto da fonte (como a determinação da altura), quanto do filtro (determinação da vogal). Isso explica, por exemplo, porque se pode produzir uma mesma vogal em alturas distintas sem que se perca sua inteligibilidade (KENT e READ, 2002: 22).

A partir desses estudos, permite-se que as vogais sejam modeladas em interações num tubo fechado em uma das extremidades e aberto na outra, representando, assim, o trato vocal, como asseguram Kent e Read (2002: 22): “além disso, todas as outras vogais em Inglês podem ser modeladas, pelo menos aproximadamente, por modificações feitas de forma apropriada em um tubo reto”.

Esse tubo pode ser descrito a partir de sua área transversal em função da posição, o que permite, a partir da simulação de um trato vocal humano, criar um modelo que corresponda a cada uma das vogais. O modelo, com configuração tridimensional adequada à produção de cada uma das vogais, permite a descrição e a simulação

¹ A função de transferência é uma representação matemática da relação entre a saída e a entrada de um sistema. No caso do trato vocal, este atua modificando o sinal original (entrada), de forma que o que é ouvido (saída) é um sinal bastante mais complexo que o original.

experimental do comportamento do trato vocal.

2.4 Impedância Acústica

A impedância acústica é uma propriedade física do próprio instrumento, que independe da ação do instrumentista. Consiste na resposta acústica do instrumento para todas as possíveis frequências que se possa obter naquele determinado instrumento. Como depende unicamente das dimensões e do formato do instrumento, é um dos poucos elementos objetivos na medição dos instrumentos musicais.

Outro aspecto que tem uma grande influência no som é o instrumentista, mas essa é outra história e é um tanto mais complicada. Realmente uma grande vantagem de se medir a impedância acústica é que ela nos dá uma medição objetiva do instrumento propriamente. Nesse sentido, é em alguns casos mais útil para cientistas e construtores de instrumentos que o som do instrumento. (WOLFE, s/d)

De acordo com Wolfe (s.d.), todo material elástico oferece uma determinada resistência à transmissão de ondas sonoras. A impedância acústica de um sistema vibratório seria a oposição que este oferece à passagem da onda sonora em função de sua pressão e volume.

Assim, temos que a impedância acústica é a razão entre a pressão acústica e o volume necessários para se produzir um som em determinado instrumento.

$$Z = \text{pressão acústica} / \text{volume da vazão}$$

Smith, Henrich e Wolfe (1997:315) afirmam que “a medição da impedância na flauta impõe vários problemas técnicos”. A flauta transversal, por ser um instrumento de embocadura livre, é tocada com o orifício da embocadura aberto para o ambiente. Assim, o jato de ar é conduzido ao bocal da flauta de forma externa ao instrumento, o que faz com que a embocadura fique apenas parcialmente fechada pelos lábios do instrumentista, diferentemente do que ocorre na maioria dos outros instrumentos de

sopro, como o clarinete ou o fagote.

Como consequência dessa incidência externa do jato de ar, a oscilação de pressão na embocadura é praticamente nula. Dessa forma, a impedância da flauta é próxima do mínimo, como ressaltado no trabalho de Smith, Henrich e Wolfe (1997)

Dessa forma, a flauta possui uma forma de emissão muito peculiar, que é bastante diferente dos instrumentos de palheta, como a clarineta e o oboé, e dos instrumentos da família dos metais, em que a vibração dos lábios toma o lugar da palheta. Esses instrumentos soam com muita pressão e pouco volume de ar, ou seja, “soam a frequências determinadas por sua impedância máxima” (SMITH, HENRICH e WOLFE, 1997: 315). A flauta, por outro lado, soa com pouca pressão e muito volume de ar, conseqüentemente, “a flauta soa a frequências próximas à impedância mínima” (SMITH, HENRICH e WOLFE, 1997: 315).

A embocadura da flauta é aberta para o ar, então o instrumento toca aproximadamente com a mínima impedância de entrada na embocadura. O instrumentista seleciona entre possíveis mínimos ajustando a velocidade do jato de ar (Coltman, 1976), e conseqüentemente um regime de vibração periódica é estabelecido com a frequência fundamental próximo ao de um mínimo de impedância. (ALMEIDA *et al.*, 2009:1521)

Esse é um aspecto que pode ser decisivo na determinação da influência do trato vocal sobre o timbre do instrumento. Com menos pressão, o jato de ar que incide no instrumento tende a sofrer maior influência dos mecanismos anteriores à sua emissão pela boca. Assim, é possível que o trato vocal exerça maior influência no som da flauta do que em outros instrumentos que atuam com valores máximos de impedância.

Dessa forma, também a compreensão da impedância do trato vocal, ou ainda, do trato vocal em suas diferentes configurações, poderia auxiliar na determinação objetiva das diferenças entre as diversas configurações de trato vocal e fornecer elementos sobre como essas configurações podem atuar no timbre da flauta.

A esse respeito, Fritz (2004: 19) afirma que “é crucial saber a impedância de seus tratos respiratórios em situação de execução para avaliar se podem efetivamente induzir efeitos significativos musicalmente”. E conclui que “o nível de impedância dos tratos vocais não é sempre insignificante em comparação com o clarinete” (FRITZ,

2004: 47), reafirmando a importância de se conhecer a impedância não apenas do instrumento – como já calculado por Wolfe (2009) – mas também a impedância do trato vocal.

2.5 Estudos com protótipos de trato vocal

Diversos trabalhos já se dedicaram à construção de protótipos de trato vocal. Chiba e Kajiyama (1941) realizaram a medição da cavidade oral humana e construíram um modelo mecânico capaz de gerar vogais artificialmente. A medição, a partir de diversas imagens de raios-X, foi realizada para criar um modelo simples de um ressonador acusticamente equivalente ao trato vocal humano.

Em seguida, Chiba e Kajiyama (1941) simularam vogais artificialmente a partir do trato vocal produzido. Para isso, foi adicionado um emissor de frequências à base do trato vocal. São apresentados tabelas e esquemas das medidas utilizadas na elaboração do trato vocal para cinco vogais distintas.

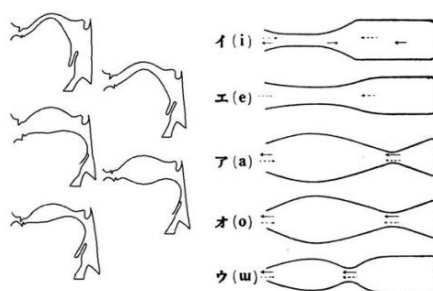


Figura 6: esquema das vogais apresentadas por Chiba e Kajiyama (1941).

As vogais estudadas pelos autores são apresentadas tanto na sua grafia em Japonês, quanto na grafia utilizada pelo alfabeto fonético internacional, conhecido como IPA (International Phonetic Alphabet). Dessa forma, é possível realizar a transposição entre as vogais utilizadas por Chiba e Kajiyama (1941) e as vogais do Português. Henrique (2009: 706) apresenta uma tabela com os símbolos fonéticos e um exemplo de cada uma das vogais do Português:

VOGAIS	
Símbolo	Exemplo
[i]	bico, livro
[e]	medo, Pedro
[ɛ]	ferro, terra
[a]	pá, gato
[ɐ]	para, fazer
[i]	sede, secar
[ɔ]	pó, cola
[o]	força, poço
[u]	tu, sul
[j]	pai, feito
[w]	pau, água
[ĩ]	sim, rim
[ẽ]	penete, dente
[õ]	banco, canta
[õ]	ponte, bomba
[ũ]	atum, fundo
[j]	põe
[w]	mão

Tabela 1: símbolos do Alfabeto Fonético Internacional para as transcrições fonéticas do português (HENRIQUE, 2009: 706)

Assim, temos que, de acordo com o esquema apresentado por Chiba e Kajiyama (1941) e a tabela de Henrique (2009), as vogais utilizadas no experimento podem ser compreendidas em Português da seguinte maneira:

vogal	exemplo
[i]	bico, livro
[e]	medo, Pedro
[a]	pá, gato
[o]	força, poço
[w]	pau, água

Tabela 2: correspondência entre as vogais utilizadas no experimento de Chiba e Kajiyama (1941) e as vogais do Português, de acordo com o alfabeto fonético internacional.

Arai (2001) avalia e discute os modelos elaborados por Chiba e Kajiyama (1941), com ênfase no processo de construção dos modelos propostos a partir de duas técnicas. A primeira consiste na reprodução precisa das curvas medidas no trato

vocal humano, esculpindo a cavidade no interior de um bloco de acrílico. A segunda consiste na reprodução aproximada, com uma sequência de placas de acrílico que compõem, juntas, as formas do trato vocal:

O modelo aproximado faseado consiste em um conjunto de placas de acrílico, cada uma com um furo central. Quando colocadas lado a lado, os buracos das placas formam um tubo, com área transversal mudando de forma faseada. Cada placa tem 100 mm x 100 mm x 100 mm. (ARAI, 2001: 32)

O autor apresenta uma tabela com as medições do diâmetro central dos anéis que formam de cada um dos modelos de vogais estudadas por Chiba e Kajiyama (1941):

Vogal																
/i/	24	14	12	10	10	10	16	24	32	32	32	32	32	32	12	12
/e/	24	22	22	20	18	16	16	18	24	28	30	30	30	30	12	12
/a/	32	28	30	34	38	38	34	30	26	20	14	12	16	26	12	12
/o/	14	22	26	32	38	38	34	28	22	16	14	16	22	30	12	12
/w/	16	14	20	22	24	26	22	14	18	26	30	30	30	30	12	12

Tabela 3: medições do diâmetro de cada um dos pequenos anéis que formam o modelo de trato vocal (ARAI, 2001)

Chiba e Kajiyama (1941) discutem, ainda, os efeitos dos materiais utilizados na construção dos tubos. Os modelos originais utilizados eram feitos de Plasticine (espécie de massa de modelagem), mas não se notou diferença considerável quando comparados tubos de diferentes materiais. Em sua avaliação, Arai (2001: 32) conclui que as alterações acústicas resultantes dos diferentes materiais seriam mínimas. O autor utiliza acrílico na construção dos modelos, “porque é transparente e fácil de esculpir” (ARAI, 2001:32).

Sobre a rigidez das paredes do trato vocal, Sondhi (1974), ao discutir o modelo de propagação da onda em um trato vocal com perdas e parede irregular, conclui que o efeito da irregularidade das paredes do trato vocal, ainda que mínimo, só pode ser percebido em frequências inferiores a 500 Hz. Acima dessa frequência, as paredes podem ser consideradas rígidas.

Maeda *et al.* (2004) realizam uma comparação dos dois modelos de construção de

trato vocal a partir dos resultados de Chiba e Kajiyama (1941) e de Arai (2001). São realizadas medições com os dois modelos de trato vocal discutidos por Arai (2001), construídos em acrílico e configurados para a vogal /a/. Depois de um experimento perceptivo, Maeda *et al.*(2004) concluem que os dois modelos são capazes de produzir a vogal /a/, embora sejam encontradas diferenças na qualidade do som. A partir de uma análise do espectro resultante por LPC (*linear predictive coding*), os autores notam que os formantes de 1 a 4 são praticamente idênticos, “embora o modelo de placas apresente larguras de banda mais amplas” (MAEDA *et al.*, 2004: 64). Assim, concluem que a qualidade da produção de vogais dos dois modelos é praticamente a mesma.

Story, Titze e Hoffman (1996) realizam uma pesquisa de medição do trato vocal a partir de imagens de ressonância magnética (MRI). A partir da hipótese de que “a forma tubular do trato vocal pode ser aproximada como um número finito de elementos cilíndricos ‘empilhados’ consecutivamente da laringe até a boca”, os autores apresentam a medição de 18 diferentes formas de trato vocal. O principal objetivo do experimento foi obter um grande número de formas de trato vocal de um interlocutor específico (as medições foram realizadas com o primeiro autor do texto).

Sobre o uso de MRI na construção de modelos de trato vocal, Narayanan *et al.* (1995) ressaltam que, a partir da comparação entre os formantes obtidos na gravação do som emitido pelos modelos e do som natural da fala, houve uma boa aproximação.(NARAYANAN *et al.*, 1995: 37).

Ao todo, Story *et al.* (1996) realizam um conjunto de medições para as 18 formas de trato vocal examinadas, sendo 12 formas de vogais. Os resultados são apresentados em funções de área em intervalos iguais de 0,396825 cm (STORY *et al.*, 1996: 547). Ou seja, cada anel que constrói o formato do trato vocal teria, aproximadamente, 0,4 cm de espessura. Os três primeiros formantes das vogais, obtidos a partir do espectro alcançado com a emissão da voz natural e do modelo simulado, são analisados por LPC.

As medições apresentadas no artigo de Story *et al.* (1996:547) foram utilizadas no trabalho de Fritz (2004). Entretanto, como forma de facilitar a realização dos discos necessários à construção do trato vocal artificial utilizado na pesquisa, a autora

decidiu aumentar o intervalo dos discos para 5 mm em lugar dos 3,96825 mm originais. Fritz (2004:45) apresenta uma tabela com a área interna dos discos utilizados na configuração das duas vogais estudadas.

Os discos de acrílico utilizados por Fritz (2004) foram colocados dentro de um cilindro transparente, montando as duas diferentes configurações (que correspondem às duas vogais citadas pelos clarinetistas na entrevista realizada anteriormente pela autora).

No entanto, para reproduzir essas áreas características em um trato vocal artificial de acrílico, com a discretização fina do trato vocal a cada 3,968 mm, seria uma tarefa gigantesca para fazer todos os discos necessários. Por isso decidimos aumentar o tamanho dos discos e discretizar áreas de 5mm. (FRITZ, 2004:44)

2.6 Pesquisas sobre a influência do trato vocal em instrumentos diversos

São encontrados na literatura específica diversos trabalhos que tratam da relação entre o trato vocal e o timbre dos instrumentos de sopro. O estudo de Fritz e Wolfe (2005) aborda os ajustes do trato vocal feitos por clarinetistas para obter diferentes efeitos em seus instrumentos. Em pesquisa com dezessete clarinetistas experientes, os autores afirmam que todos declararam avaliar que o trato vocal exerce grande influência no timbre do instrumento. A partir de um modelo experimental que considera as configurações dos clarinetistas, afirmam: os efeitos acústicos do trato vocal não podem ser negligenciados e têm significativa influência musical no som produzido. (FRITZ e WOLFE, 2005: 3315)

Wolfe et al. (2003), em artigo intitulado “Alguns efeitos da língua e do trato vocal no som de instrumentos de sopro”, analisa o efeito de duas posições do trato vocal na produção do som no didjeridu (ou didgeridoo, na grafia inglesa), instrumento típico australiano, e no trombone. Os autores explicitam o porquê da utilização de aparatos experimentais para explicar os efeitos das alterações estudadas: há complicações que, quando um instrumentista muda a forma da boca, ele/ela também pode, inconscientemente, mudar a tensão e a geometria do lábio. (WOLFE et al., 2003:

307). Os autores apresentam ainda a modelagem de um trato vocal geometricamente simples, a partir de duas posições usualmente usadas pelos instrumentistas: a primeira, representando a língua totalmente abaixada; a segunda, representando a língua levantada.

Em estudo sobre a influência do trato vocal em instrumentos de palheta, em especial o saxofone, o autor observa, a partir de resultados experimentais muito próximos da realidade do instrumento, clara alteração do som pela manipulação do trato vocal. (SCAVONE, 2003: 4).

Wolfe et al. (2009) apresentam um estudo comparativo das ressonâncias do trato vocal na fala, no canto e nos instrumentos de sopro, particularmente instrumentos de palhetas e aqueles da família dos metais. O estudo mostra o efeito de filtro do trato vocal nas categorias apresentadas e afirma: as ressonâncias do trato vocal podem então influenciar o timbre dos instrumentos de sopro. (WOLFE *et al.*, 2009: 7).

Fritz (2004) desenvolve, em sua tese de doutorado realizada nas universidades Paris 6 (França) e New South Wales (Austrália), um estudo completo sobre a influência do trato vocal na produção do som no clarinete. Após um estudo teórico sobre o trato vocal, no qual são analisados aspectos da impedância e do comportamento de modelos matemáticos que explicam suas funções, é empreendido um experimento para determinar a influência de duas formas do trato vocal (correspondentes às vogais “ee” e “aw” do idioma inglês) no som do instrumento. As vogais são escolhidas após uma entrevista com dezessete clarinetistas, que também participaram da medição do trato vocal em situação semelhante à de execução do instrumento.

O experimento realizado por Fritz (2004) contou com um trato vocal artificial composto por discos de diferentes diâmetros que, colocados lado a lado, formam um tubo em seu interior, e lábios artificiais feitos de tubos de látex. A figura abaixo mostra um esquema completo do experimento.

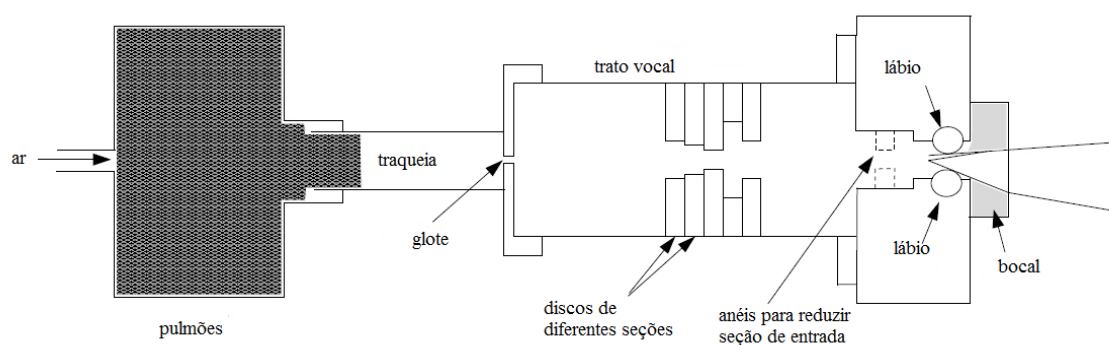


Figura 7: esquema adaptado do experimento realizado por Fritz (2004: 82)

Apesar de reconhecer algumas falhas no experimento, como, por exemplo, a imprevisão das grandes mudanças causadas por uma das formas de trato vocal medidas, Fritz (2004:121) conclui que a influência do trato vocal não pode ser resumida a apenas um componente acústico, tendo as medições de impedância reforçado essa conclusão. Embora as formas de trato vocal testadas tenham provocado um efeito quase nulo sobre a frequência, o espectro resultante mostra que alguns harmônicos foram acentuados ou atenuados com a mudança na configuração do trato vocal.

As pesquisas envolvendo as particularidades da flauta transversal têm apresentado ponto de vista um pouco diferente, com maior foco na didática e execução do instrumento.

Lamkin (2005) escreve sobre as relações entre as práticas linguísticas dos flautistas e sua sonoridade na flauta. A autora sugere que o som e a articulação dos instrumentistas estão relacionados à sua língua nativa e também a outras línguas que os músicos possam falar: “a cultura da linguagem pode influenciar escolhas sutis na produção do som”. (LAMKIN, 2005: 1).

No artigo, são apresentadas análises de gravações que, segundo o autor, revelam correlações entre o timbre vocal e o instrumental dos flautistas. A autora afirma não haver muitos estudos sobre a acústica do som da flauta propriamente dito (LAMKIN, 2005: 2) e que em regra, há uma relutância em falar sobre como fazer cores, ou diferenças harmônicas no timbre da flauta usando mudanças de linguagem.

(LAMKIN, 2003: 2).

Mais adiante, o autor ressalta que, no ato de tocar flauta, os flautistas usam um formato dentro da boca de maneira similar a que eles usam ao falar. (LAMKIN, 2003: 2). Utilizando um software de análise de som e a partir de gravações de flautistas tocando flauta e falando, a autora conclui haver estreitas relações entre os dois fenômenos acústicos (LAMKIN, 2003: 15).

Walker (1995) trata do uso da técnica de inflar as bochechas com ar em diversas escolas de ensino de flauta: inflar as bochechas é quando o flautista permite bolsas de ar formadas na parte superior ou inferior das bochechas enquanto toca. (WALKER, 1995: 2). O autor conclui que a técnica de inflar as bochechas pode ajudar a uniformizar as mudanças na pressão do ar e, assim, controlar a afinação e a qualidade do som.

Coltman (1973) analisa os efeitos da ressonância da boca no som da flauta. A partir das previsões matemáticas de Benade e French (1965), que analisaram a expectativa do que acontece quando se acopla a ressonância da boca na coluna de ar que atinge o bocal do instrumento. O autor afirma que

é possível que os efeitos do movimento da língua descritos por Benade e French nesse região sejam causados pela atuação da cavidade bucal no segundo harmônico do som da flauta, o qual é ligeiramente proeminente no espectro. Naturalmente, os tamanhos das bocas variam com os indivíduos, então a Fig. 1 representa apenas um exemplo singular, mas não há razão para acreditar que é atípico. (COLTMAN, 1973: 417)

O recente trabalho publicado por Wolfe *et al.* (2013) trata da interação entre instrumentistas e instrumentos de sopro, focando-se na questão do trato vocal. Um dos objetivos descritos no texto é mostrar como as ressonâncias do trato vocal podem influenciar o timbre.

Os autores ressaltam o interesse em estudar a interação instrumento – instrumentista em lugar de estudar apenas no instrumento: “o instrumentista é muitas vezes mais interessante que o instrumento: em geral, um bom músico em um instrumento ruim soa melhor que um músico ruim em um bom instrumento”. (WOLFE *et al.*, 2013: 323). E concluem que a compreensão de como os bons instrumentistas tocam pode auxiliar tanto estudantes quanto professores de música.

Para entender um pouco mais a relação músico – instrumento, foram realizados testes com a ressonância e a impedância tanto de tratos vocais quanto de instrumentos. Foram testados saxofones, clarinetes e trompetes. Em seguida, os gráficos resultantes foram sobrepostos e comparados. Concluiu-se que a impedância acústica dos tratos vocais contribui para a afinação, em especial quando o pico de impedância recai próximo à frequência que está sendo tocada, e também para o timbre.

2.7 Estudos com embocaduras de instrumentos de sopro

Encontramos na bibliografia especializada alguns exemplos de embocadura de instrumentos de sopro elaborados para experimentos empíricos. A maior parte desses modelos relaciona-se a instrumentos que utilizam palheta, em especial a clarineta e o saxofone, e outros que fazem uso da vibração dos lábios do instrumentista, como trombone e trompete.

Backus (1961) realiza um estudo sobre a palheta da clarineta. A abertura da palheta é medida a partir da determinação da quantidade de luz que a atravessa. Para essa medição, são elaborados lábios artificiais em mousse de neoprene e, sobre esses lábios, foi colocada uma ponta metálica para simular os dentes e, conseqüentemente, a pressão da embocadura.

Mooney (1968), em estudo sobre o trato vocal e a clarineta, elabora uma boca artificial que leva em conta alguns detalhes anatômicos. A partir de moldes de sua própria boca e dentes (o autor é clarinetista profissional), construídos por um dentista, é elaborada a cavidade bucal. Uma fita de poliuretano faz o papel de língua, o que permite calcular o efeito da posição com que o clarinetista encosta a língua na palheta do instrumento. Fotografias de raios-X demonstram o ângulo entre os dentes e o bocal do instrumento.

Bak e Domler (1987) elaboram lábios artificiais com balões cheios d'água que são colocados junto à palheta e ao bocal da clarineta e podem ser pressionados nas duas extremidades, para regular a pressão e o amortecimento exercidos pelos

lábios.

Mayer (2003) desenvolve uma boca artificial específica para estudos com instrumentos de palheta chamada RIAM (Reed Instruments Artificial Mouth). A RIAM é automatizada e controlada por computador, a partir de dispositivos nela instalados. São controlados parâmetros como a pressão, a posição e o contato com a palheta do instrumento. Esse dispositivo é utilizado na tese de doutoramento de Fritz (2004), associado a lábios feitos de tubos de látex preenchidos com água. Os lábios podem ser estendidos para simular o movimento realizado pelo clarinetista sob a palheta.

Enokida (2011) desenvolve um modelo de embocadura para instrumentos da família dos metais, que utilizam a vibração dos lábios. Foram inseridos fios de metal no modelo para imitar os músculos da boca, controlados por um motor, o que possibilitou mudanças nas notas emitidas.

Coltman (1973) analisa os efeitos da cavidade oral no som da flauta. A partir do estudo de Benade e French (1965), que prevê, com análises matemáticas, o comportamento do instrumento ao se acoplar a ressonância da cavidade oral, Coltman (1973) discute os efeitos da língua e da cavidade da boca em diferentes regiões de frequência. Para isso, foi construída uma boca artificial formada por um cilindro controlado por um êmbolo.

No modelo de Coltman (1973), os lábios foram simulados com um tubo de metal de 6mm de comprimento com massa de modelar para imitar a parte externa dos lábios do instrumentista:

Para investigar com mais detalhes o efeito da cavidade da boca na frequência da flauta, foi construída uma boca artificial. Ela consiste numa cavidade cilíndrica de 1,9 centímetros de diâmetro, cujo volume poderá ser alterado por um êmbolo móvel. O ar pode ser introduzido na cavidade através de um tubo de pequeno diâmetro de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda. Um tubo de metal curto (6 mm de comprimento), achatado para 1 mm x 6 mm em sua extremidade externa, forma a abertura da embocadura, e massa de modelar foi usada para imitar a geometria externa dos lábios do instrumentista. A flauta pode soar adequadamente (se não encantadoramente) com essa combinação. (COLTMAN, 1973: 418)

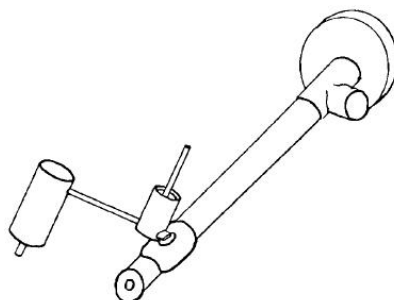


Figura 8: esquema da boca artificial elaborada por Coltman (1973: 418). No modelo não estão representados os lábios construídos com massa de modelar

Wolfe *et al.* (2003) analisam efeitos do trato vocal e da língua para o didjeridu (instrumento aborígine australiano) e para o trombone. São elaborados dois *instrumentistas artificiais* (WOLFE *et al.*, 2003: 307), um, mais simples, com um cantiléver elástico, que vibra com a passagem do ar; e outro, mais elaborado, com tubos de látex repletos de um fluido.

usamos um instrumentista artificial (...). A palheta é um simples cantiléver elástico. Chamamos essa versão de Phyl, de PHYsicist's Lips (lábios de físico). Outra versão, com lábios de látex cheios de fluido, é chamada AI, de Artificial Lips (lábios artificiais). (WOLFE *et al.*, 2003: 307)

Alguns detalhes do instrumentista artificial, versão Phyl, para o trombone, podem ser visualizados na figura abaixo:

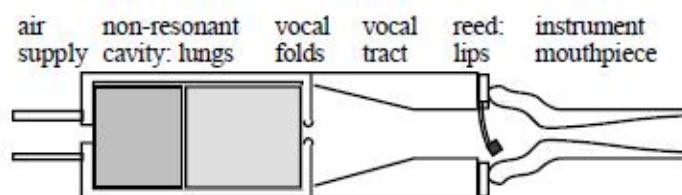


Figura 9: detalhes do instrumentista artificial elaborado por Wolfe *et al.*(2003:308)

Sawada e Sakaba (1980), em artigo sobre a transição de modos na flauta, ressaltam a experiência dos músicos na obtenção da melhor sonoridade do instrumento: “eles sabem por treino qual o melhor arranjo físico para obter as notas de transição para expressar sua música” (SAWADA e SAKABA, 1980: 1790), e destacam a pouca

quantidade de estudos específicos sobre a flauta: “há relativamente pouca literatura que trata diretamente o problema da flauta” (SAWADA e SAKABA, 1980: 1790). Os autores propõem um modelo experimental com uma embocadura feita de metal, com exceção do lábio inferior, feito com uma folha fina de borracha. A figura abaixo mostra os detalhes da embocadura, apresentados no texto de Sawada e Sakaba (1980).

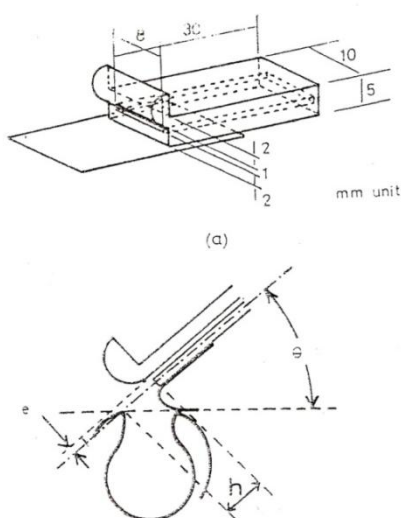


Figura 10: detalhes do modelo de embocadura elaborado por Sawada e Sabaka (1980: 1790)

2.8 Considerações finais

No presente capítulo, foram apresentados os processos de abordagem da questão levantada, bem como os principais conceitos necessários à compreensão do tema enfocado.

A questão de como as diferentes configurações, e mesmo pequenas alterações do trato vocal do flautista podem influenciar no timbre do som produzido será estudada por meio de um aparato empírico. No aparato, que isola as variáveis a serem examinadas, é possível observar mais objetivamente as alterações que ocorrem durante a produção do som na flauta. Os textos expostos corroboram tal afirmação, em especial o trabalho realizado na tese de Fritz (2004), principal marco teórico

desta pesquisa, apresentado ao longo do presente capítulo.

No capítulo 3 serão expostas as etapas de elaboração do experimento, com o detalhamento de cada uma das partes de compõem o protótipo final e os resultados dos testes realizados.

No capítulo 4 são apresentadas as análises realizadas e as conclusões a que tais análises conduziram, bem como as perspectivas futuras para a pesquisa.

EXPERIMENTO

No presente capítulo são descritas as etapas de elaboração do experimento, com o detalhamento da construção de cada uma das partes que compõem o aparato final, os testes preliminares e a medição da impedância dos tratos vocais.

3.1 Construção dos tratos vocais

A pesquisa para o protótipo de trato vocal foi inicialmente conduzida a partir dos dados utilizados por Fritz (2004). A autora utiliza, nos experimentos realizados em seu doutorado, dois modelos de trato vocal. O texto apresenta as medidas utilizadas nos modelos das duas vogais mais empregadas pelos clarinetistas que auxiliaram as medições. As medidas foram adaptadas de Story et al. (1996) que, devido à grande precisão, eram de reprodução muito difícil, como ressalta Fritz (2004:44).

section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
“aw”	65	65	30	30	30	30	65	65	65	65	65	65
“ee”	30	30	30	65	150	200	200	200	250	250	300	300
section	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
“aw”	65	65	100	100	150	150	200	200	250	250	300	
“ee”	300	300	300	300	250	250	150	150	100	100	65	
section	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
“aw”	350	400	500	600	650	650	650	400	300	200	330	
“ee”	65	65	65	65	65	65	100	160	200	200	330	

Tabela 4: medidas apresentadas por Fritz (2004: 45)

Por essa razão, optou-se seguir as medidas propostas por Chiba e Kajiyama (1941). O trabalho de Chiba e Kajiyama (1941), além de encontrar respaldo na bibliografia especializada, tendo sido amplamente testado e estudado, apresenta medidas de reprodução mais facilitada, sem necessidade de adaptação ou aproximação, o que confere maior confiabilidade aos modelos.

A princípio, os discos seriam confeccionados em madeira. Entretanto, após a consultar especialistas em *lutheria*, constatou-se que os modelos em madeira, além de possuírem alto custo, poderiam sofrer grande influência de fatores externos, como a temperatura e a umidade, tornando os modelos pouco estáveis e, portanto, podendo comprometer os resultados do experimento. Ademais, a madeira não nos permitiria uma visualização do interior dos modelos de trato vocal, o que impossibilitaria uma posterior análise visual.

Foi considerada a possibilidade de confecção dos modelos em polietileno, um polímero simples e de custo relativamente baixo. Entretanto, o material mais utilizado na confecção de protótipos de trato vocal é o acrílico, por sua facilidade de manuseio e por ser um material transparente, o que permite melhor visualização do interior dos modelos. É, inclusive, o material utilizado por Arai (2001) em suas medições. Comparado ao acrílico, o polietileno apresenta a desvantagem de não permitir a visualização do interior do protótipo, por não ser um material transparente.

Assim, optou-se por confeccionar os discos para o protótipo de trato vocal em acrílico. Os discos foram encomendados a uma empresa especializada em acrílico, que realiza cortes a laser. Para a confecção dos protótipos, contamos com o valioso auxílio do aluno Borys Duque, membro do grupo Mobile/NuSom, com formação em Arquitetura e experiência em desenvolvimento de modelos e maquetes.

Foram construídos os protótipos das cinco vogais medidas por Chiba e Kajiyama (1941), a partir das medidas apresentadas na tabela 3. Dessa maneira, foram encomendados 80 discos de acrílico com 50 mm de diâmetro externo e furação central de acordo com as medidas explicitadas na tabela 3, de modo que, sobrepostos, os discos formassem, em seu interior, o modelo de trato vocal desejado.

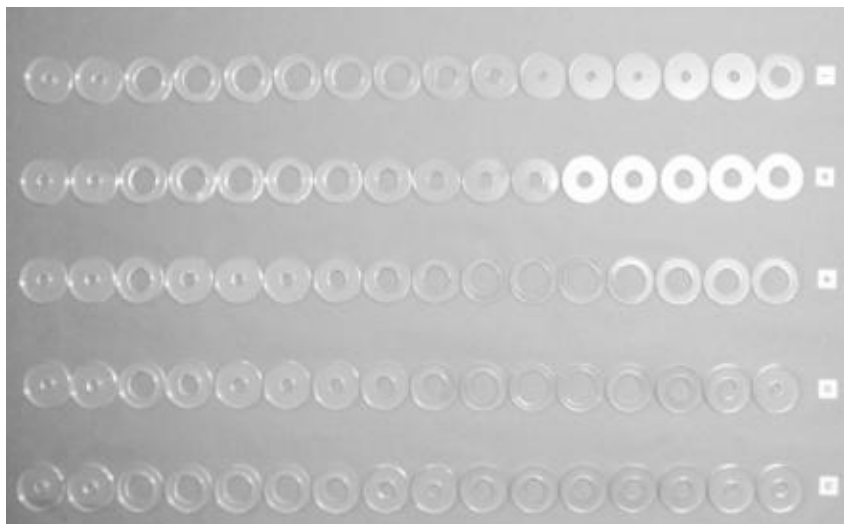


Figura 11: os 80 discos de acrílico antes da montagem, organizados de acordo com a Tabela 3.

Inicialmente, os discos de acrílico seriam encaixados dentro de um tubo, também de acrílico, como sugerido no trabalho de Fritz (2004:82). Entretanto, colocando-se os discos dentro do tubo, foi possível perceber que não haveria como eliminar as folgas. Dessa forma, o jato de ar passaria não apenas dentro do trato vocal artificial moldado pelos discos, mas também pelas frestas deixadas pelos discos encaixados no interior do cilindro, o que poderia afetar os resultados finais do experimento.

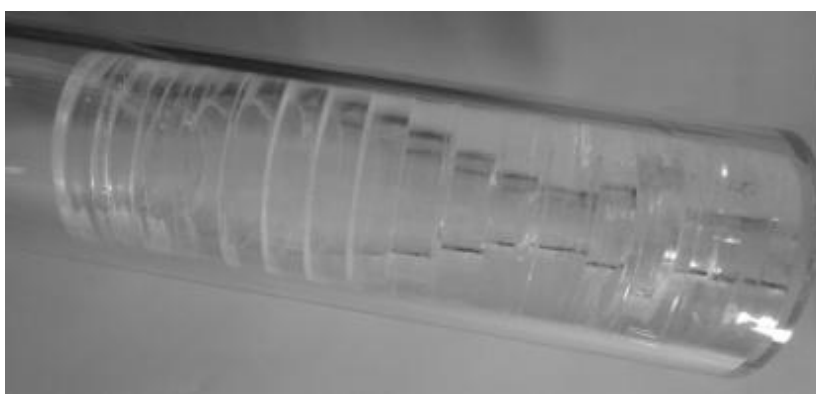


Figura 12: discos montados dentro do tubo de acrílico

Foi verificada, portanto, a necessidade de unir os discos de forma definitiva e sem frestas. Para isso, foi utilizado um processo de soldagem química, com aplicação de solvente específico de acrílico (S-320). Os discos foram colocados em um suporte de madeira que os mantinha em posição que permitia a montagem do protótipo.

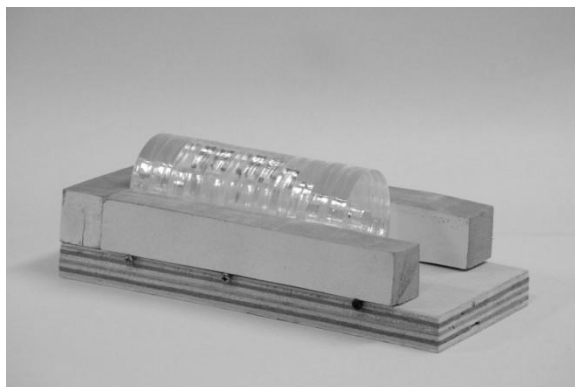


Figura 13: montagem dos protótipos de trato vocal

Após esse processo, foram formados cinco tubos de acrílico, com cerca de 50 mm de diâmetro externo. No interior dos tubos, são formados, de acordo com a furação dos discos, os modelos de trato vocal, como mostrado na figura abaixo.



Figura 14: protótipo de trato vocal correspondente à vogal /a/

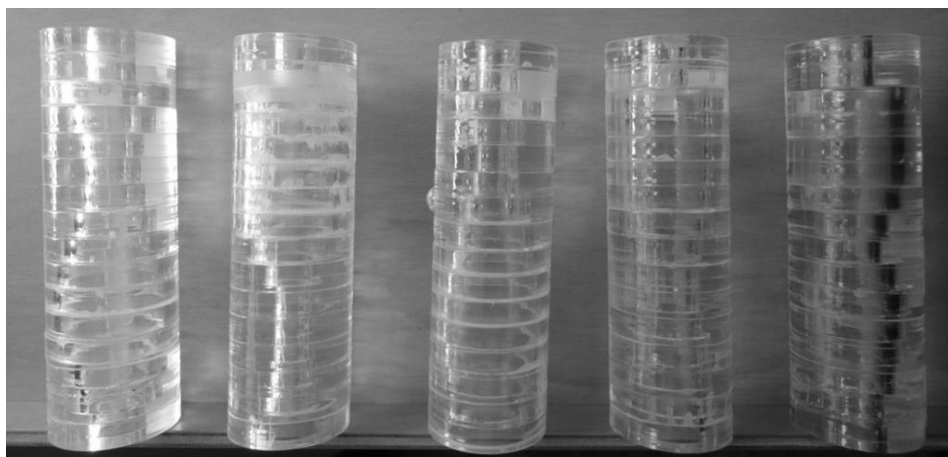


Figura 15: resultado final dos cinco protótipos

3.2 Construção da embocadura

A construção de um protótipo da embocadura de flauta transversal não se apresenta como uma tarefa simples. Primeiro, porque a flauta é um instrumento de embocadura livre, ou seja, não usa palhetas. Assim, os lábios do instrumentista não cobrem totalmente o orifício da embocadura e o som se forma entre o contato do jato de ar e a borda do orifício de embocadura.

Depois, porque a bibliografia acerca desse tema mostrou-se escassa. Os trabalhos com protótipos da produção sonora de instrumentos de sopro, em geral, concentram-se no estudo da clarineta, do djeridu e de alguns instrumentos da família dos metais, como o trombone (SCAVONE, 2003; WOLFE *et al*, 2003; FRITZ e WOLFE, 2005; WOLFE, GARNIER e SMITH, 2009).

Embora os modelos construídos nos trabalhos de Coltman (1973) e Sawada e Sakaba (1980) tenham sido elaborados especificamente para a flauta, tais modelos não permitem o acoplamento anterior de um tubo correspondente ao trato vocal. Isso ocorre porque, ou a embocadura já está conectados a um tubo, como no caso da embocadura elaborada por Coltman (1973) ou porque possui uma parte anterior que impossibilita o acoplamento imediato de qualquer outro mecanismo, como no caso da embocadura elaborada por Sawada e Sakaba (1980). Tais modelos foram mais detalhadamente descritos no capítulo anterior.

Para que o trato vocal pudesse ser acoplado à embocadura, era preciso que esta não fosse muito espessa, a fim de não inserir extensão extra ao do trato vocal. O modelo que elaboramos foi construído em látex galvanizado, material comumente utilizado na confecção de moldes, modelos e máscaras. O primeiro molde foi elaborado em silicone de condensação (nome comercial Speedex), material odontológico utilizado para confecção de moldes e modelos, e que exige apenas 3 minutos para fixação.

Após a secagem do primeiro molde, este foi preenchido com o látex galvanizado, comercializado em estado líquido. A secagem do látex foi o primeiro problema encontrado. Como se pretendiam várias camadas do material, de modo que a

espessura do modelo fosse semelhante à natural dos lábios, o látex demorou vários dias para secar, mesmo com o uso do calor como acelerador do processo, como indica o manual do produto. Entre as camadas de látex foi inserida uma tela de metal, para dar maior estabilidade ao modelo final.

Iniciou-se, então, a retirada do material do molde de silicone. O modelo encontrou resistência para desprender-se do mole, o que gerou algumas imperfeições na sua superfície, como se pode perceber na figura seguinte.



Figura 16: modelo de embocadura A

Outra dificuldade do modelo foi a não maleabilidade do material como esperado, pela inserção da tela metálica. As várias camadas de látex impediram que se pudesse imprimir uma posição diversa da original ao modelo. Assim, não se pôde manipular nem a abertura, nem o ângulo do modelo, como se esperava. Entretanto, apesar das falhas do primeiro modelo de embocadura, foi possível reproduzir, em certa medida, o modelo de embocadura pretendido.

Foi adquirido também um modelo de embocadura em látex maleável, distribuída por uma empresa de comércio eletrônico. O modelo apresenta boa adaptação ao bocal da flauta, com a parte inferior bastante próxima ao bocal, como recomendado nos métodos de flauta tradicionais (TAFFANEL e GAUBERT, 1958; MOYSE, 1934; MOYSE, 1933; GALLI, 1980).

Esse modelo, com uma saída menor e mais maleável, foi o que apresentou melhores resultados quando acoplado à flauta. Como a qualidade do som produzido tem relevância para o resultado final do experimento, que, apesar de comparativo,

precisa de certo nível de produção do som, esse foi o modelo utilizado no experimento final, como se descreverá a seguir.

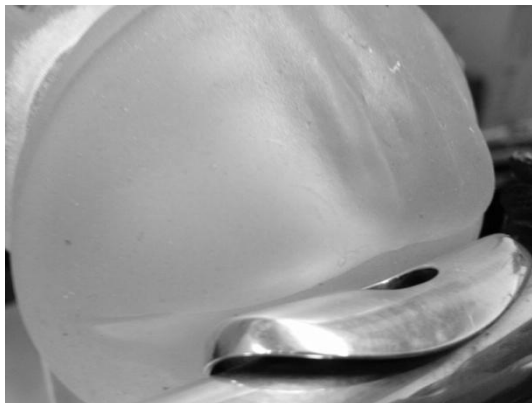


Figura 17: modelo de embocadura B

3.3 Gravações preliminares

Foram realizadas gravações preliminares em estúdio, ainda sem o protótipo, para avaliar o posicionamento dos microfones e os possíveis resultados do experimento. A gravação aconteceu no estúdio do Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes, utilizando dois microfones posicionados de acordo com a figura a seguir:



Figura 18: gravação preliminar e posicionamento dos microfones

Foram gravadas, ao todo, 33 amostras. As primeiras amostras foram organizadas de acordo com a região do instrumento (grave, média e aguda) e a posição do trato vocal, correspondente aos protótipos já elaborados, com duas gravações de cada modelo. As últimas 3 amostras foram gravadas aplicando-se a alteração do trato vocal com a nota sustentada, em cada uma das 3 regiões do instrumento. Cada amostra foi gravada com 2 microfones separadamente, de forma que, ao final, contamos 66 arquivos de áudio.

	Região grave		Região média		Região aguda	
	Microfone 1	Microfone 2	Microfone 1	Microfone 2	Microfone 1	Microfone 2
Modelo a	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Modelo e	Amostra 7	Amostra 8	Amostra 9	Amostra 10	Amostra 11	Amostra 12
Modelo i	Amostra 13	Amostra 14	Amostra 15	Amostra 16	Amostra 17	Amostra 18
Modelo o	Amostra 19	Amostra 20	Amostra 21	Amostra 22	Amostra 23	Amostra 24
Modelo u	Amostra 25	Amostra 26	Amostra 27	Amostra 28	Amostra 29	Amostra 30

Tabela 5: organização esquemática das gravações preliminares das primeiras 30 amostras

A análise inicial foi realizada com o software PRAAT, específico para análise da fala, desenvolvido na Universidade de Amsterdã, por Paul Boersma e David Weenink, disponível para download gratuito no website da universidade.

Buscou-se uma relação entre os formantes descritos na análise das vogais, como apresentado, por exemplo, em Kent e Read (2002) na figura abaixo, e os sons gravados. Das listas de formantes encontrados, não foi possível estabelecer uma relação. É apresentada a lista média de formantes fornecida pelo Praat para a amostra da região grave, microfone esquerdo. Entretanto, a análise foi inconclusiva.

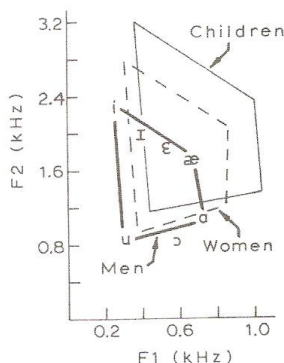


Figura 19: posição do primeiro e segundo formantes de seis vogais distintas para homens, mulheres e crianças. (KENT e READ, 2002: 106).

		Trato vocal				
		1	2	3	4	5
Formantes	1	552	588	476	548	366
	2	1449	1436	1223	1241	1112
	3	4460	2127	1927	1862	1951
	4	2512	3332	2866	3036	3291

Tabela 6: valores (em Hz) dos quatro primeiros formantes em nota da região grave, com trato vocal posicionado de cinco diferentes formas, a partir do *software* PRAAT.

Os dados foram considerados inconclusivos por não apresentarem resultado constante ou compatível com o esperado de acordo com o formato de trato vocal aplicado nas amostras gravadas. Os valores dos dois primeiros formantes estariam, por exemplo, todos abrangidos na área entre as vogais /u/ e /æ/, de acordo com o gráfico de Kent e Read (2002) *supra* mencionado. Estima-se que isto se deve a fatores como a influência de outras variáveis diferentes do trato vocal, tais como alteração na posição da mandíbula e/ou lábios, correção instintiva do músico de qualquer alteração na frequência da nota, entre outras.

A partir das amostras, foi também realizada a análise do centroide espectral. O centroide espectral mede o centro de massa de um espectro e tem sido utilizado como um descritor de timbre relacionado à ideia de brilho, como explicitado por Loureiro (2006: 22). É calculado como o centro de gravidade do espectro de amplitude medido para cada quadro de tempo.

Utilizou-se uma ferramenta de análise desenvolvida em PD (Pure Data) no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) pelo doutorando Adriano Monteiro, que gentilmente adaptou o código para atender às especificidades desta pesquisa. A ferramenta, denominada *PDdescriptors's*, permite, além da visualização do gráfico da centroide espectral do trecho analisado em quadros de 11ms, a extração de dados numéricos, como a média dos valores calculados e o desvio padrão desses valores.

3.4 Montagem do experimento²

O primeiro passo da montagem do experimento final foi a escolha do compressor de ar a ser utilizado para simular o jato de ar produzido pelo flautista.

Considerando os volumes e capacidades pulmonares do ser humano, temos que o volume corrente (VC) é o volume de ar movimentado em uma respiração normal, e corresponde à média de 0,5 l para homens adultos; a capacidade pulmonar total abrange o volume máximo a que os pulmões podem ser expandidos numa respiração forçada, e corresponde a cerca de 5,8 l para o homem adulto normal. O pico de fluxo expiratório, conhecido como peak expiratory flow ou PEF, revela a capacidade máxima expiratória não sustentada e varia principalmente de acordo com o gênero, a idade e a altura do indivíduo (LEINER: 1963:88). Uma média desses valores é apresentada na tabela a seguir.

Valores de Pico de Fluxo Expiratório (l/min)						
HOMENS						
Idade	Estatura (cm)					
(anos)	155	160	165	170	175	180
20	564	583	601	620	639	657
25	553	571	589	608	626	644
30	541	559	577	594	612	630
35	530	547	565	582	599	617
40	518	535	552	569	586	603
45	507	523	540	557	573	576
50	494	511	527	543	560	563
55	483	499	515	531	547	563
60	471	486	502	518	533	549
65	460	475	490	505	520	536
70	448	462	477	492	507	521
MULHERES						
Idade	Estatura (cm)					
(anos)	145	150	155	160	165	170
20	405	418	431	445	459	473
25	399	412	426	440	453	467
30	394	407	421	434	447	461
35	389	402	415	428	442	455
40	383	396	409	422	435	448
45	378	391	404	417	430	442
50	373	386	398	411	423	436
55	368	380	393	405	418	430
60	363	375	387	399	411	424

² A montagem final do experimento contou com o auxílio do colega Luis Carlos Oliveira, músico e engenheiro. Suas sugestões em muito auxiliaram a conclusão do experimento.

65	358	370	382	394	406	418
70	352	364	376	388	399	411

Tabela 7: valores médios para o pico de fluxo expiratório – PEF. (LEINER: 1963:88)

A partir desses valores, é possível perceber que o compressor utilizado no experimento deve fornecer, além de um jato de ar constante e sem oscilações, um fluxo de cerca de 10 l/s, com pressão contínua e controlável.

Outra característica importante seria um reservatório de média capacidade, para que o experimento pudesse ser realizado sem que fosse necessário manter o motor do compressor ligado. Além disso, é necessário que o jato de ar seja isento de óleo. Os modelos de compressores odontológicos são os que melhor se amoldam a essas condições. Foi utilizado o modelo MC 6 BPV/RV/30L, do fabricante nacional Chiaperini.



Figura 21: modelo do compressor utilizado no experimento

Inicialmente, o experimento foi montado na sala de gravações do estúdio do Departamento de Música da ECA/USP. Isso obrigava que o experimento fosse montado e desmontado depois de cada teste. As sucessivas montagens e desmontagens geraram, além de dificuldades adicionais no transporte e manuseio das peças, pontos de vazamento de ar, especialmente nas junções de equipamentos. Para sanar os vazamentos, todas as junções foram recobertas com teflon e testadas a cada montagem.

Para a entrada de ar, foram utilizadas mangueiras plásticas de 15 mm de diâmetro, conectadas inicialmente ao compressor, em seguida a um tanque que serve como

pulmão, evitando que o aumento ou a diminuição do volume entre os diferentes modelos de trato vocal possam comprometer os resultados do experimento.

Inicialmente, o aparato experimental foi idealizado sem a utilização do tanque/pulmão, de acordo com o esquema apresentado na figura abaixo.

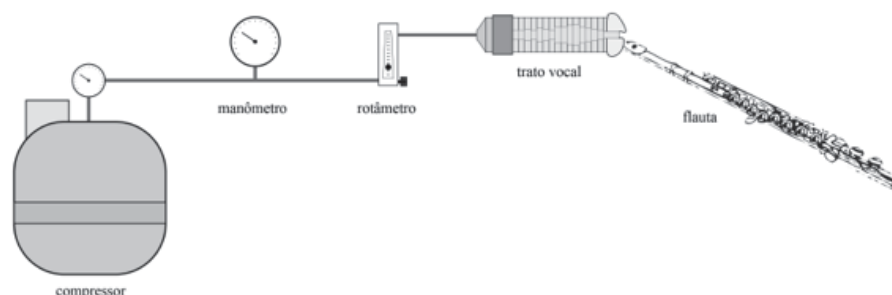


Figura 22: esquema inicial do experimento

Entretanto, a grande diferença entre os volumes dos protótipos de trato vocal evidenciou a necessidade de equilíbrio dessas medidas. O volume dos protótipos de trato vocal é dado pela tabela a seguir.

Vogal	Volume do protótipo (em mm^3)
/i/	66592
/e/	65586
/a/	89873
/o/	79098
/w/	64048

Tabela 8: volume dos modelos de trato vocal em mm^3

A diferença entre os volumes dos protótipos de trato vocal chega a 29% entre o maior e menor volume, o que se mostra bastante considerável. Somando-se a esses volumes o tanque/pulmão, com 3,5 l ($3.500.000 \text{ mm}^3$) ou 5 l ($5.000.000 \text{ mm}^3$) de volume, essa diferença entre os modelos de trato vocal torna-se de apenas 0,5% entre o maior e menor volume, exercendo bastante menos influência no resultado final do experimento.

Assim, o esquema do experimento passou a incluir um tanque/pulmão, conectado logo após a saída de ar do compressor, como demonstrado na figura abaixo.

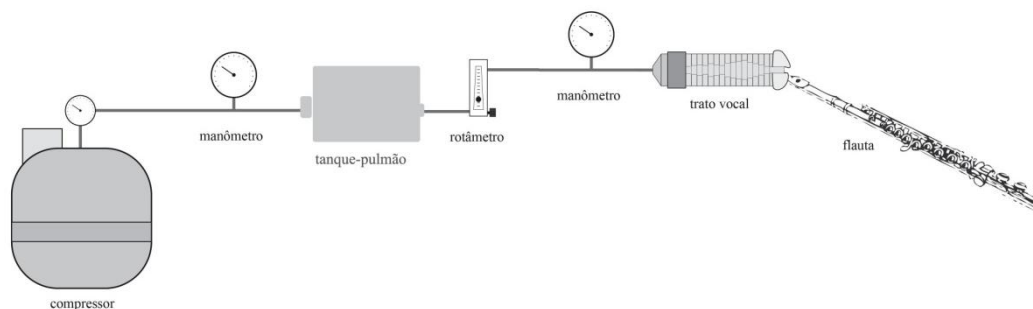


Figura 23: esquema final do experimento

Os manômetros (para medição da pressão) e o rotâmetro (para medição do fluxo) nos foram gentilmente emprestados pelo Instituto de Artes da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, por meio do Prof. Dr. Ricardo Goldemberg.

Para que todos os elementos do experimento pudessem ser integrados, foi indispensável utilizar suportes que mantivessem os equipamentos no lugar e altura adequados. Todos os suportes tiveram que ser adaptados e/ou elaborados e construídos especificamente para o uso demandado no experimento.

Um exemplo claro dessa necessidade de construção e adaptação é encontrado nos suportes que seguram a flauta na posição adequada para receber o jato de ar da embocadura. Dois grampos de aperto rápido tiveram a altura e o encaixe adaptados com bases de madeira e tiras de borracha para que mantivessem a estabilidade do protótipo e não causassem danos à superfície da flauta. Após adaptados, os suportes foram fixados, como mostra a figura seguinte.

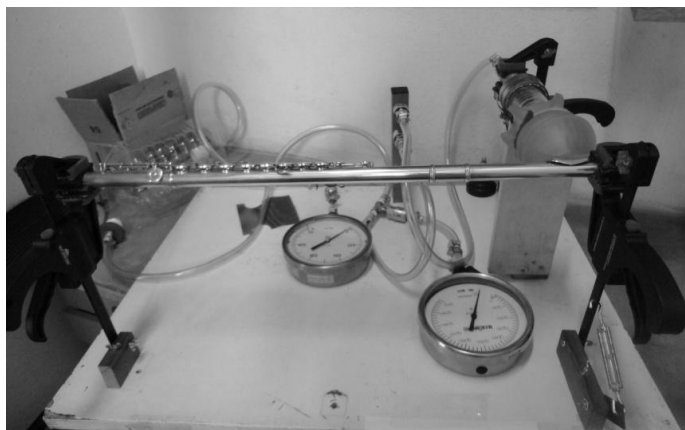


Figura 24: montagem do experimento com suportes

Ao suporte que sustenta a embocadura da flauta, foi acoplado um sistema de parafusos que permite a regulagem do ângulo e da pressão da embocadura nos lábios. Dessa maneira, podem-se ajustar tais parâmetros para que o som gerado seja o mais próximo possível do som real de um flautista.



Figura 25: sistema de parafusos para ajuste da embocadura

Toda a montagem e adaptação de engates, elaboração e construção de suportes que possibilitaram a realização do experimento foi realizada pelo colega Borys Duque. O empenho e a criatividade do colega em muito somaram aos resultados desta pesquisa.

Após a montagem, percebeu-se que havia uma grande perda de pressão entre o compressor e a saída final de ar. Isso se deveu ao grande número de engates utilizados e à extensão das mangueiras que ligam os equipamentos uns aos outros. Para resolver o problema, a extensão das mangueiras foi diminuída e alguns engates rápidos foram substituídos por conexões diretas.

Após a primeira montagem, procedeu-se a uma segunda montagem do experimento, mais criteriosa, que corrigiu em grande parte as falhas percebidas na montagem anterior. Foram realizados testes em todos os encaixes e engates, apurando e consertando vazamentos de ar



Figura 26: detalhe dos testes de vazamento dos encaixes

Todos os elementos constantes do experimento foram utilizados de maneira que ficassem estáveis durante as gravações. Para que não houvesse qualquer tipo de mudança de posição de qualquer elemento, em especial do ângulo formado entre a embocadura artificial e a flauta, foram utilizados suportes fixos presos a uma tábua plana.

Para precisar o ângulo entre a embocadura e a flauta, foi necessário um suporte que mantivesse a embocadura artificial livre de qualquer movimento. Em especial, a embocadura não poderia se movimentar durante a troca dos cinco modelos de trato vocal, pois tal movimentação comprometeria demasiadamente os resultados do experimento.

Para essa finalidade, foi construído, em madeira, um suporte longo no qual foi encaixada a embocadura, de modo que as trocas dos diferentes modelos de trato vocal pudessem ser realizadas com a manipulação apenas da parte posterior do modelo de embocadura.



Figura 27: suporte da embocadura

Anteriormente à embocadura, foi acoplada a flauta utilizada nas gravações. O modelo utilizado é da fabricante Muramatsu, em prata, com chaves abertas e pé em dó, número 2905.

Foram utilizados microfones modelo ECM 800, do fabricante Behringer, posicionados a 15 cm do instrumento, em três diferentes pontos: o primeiro, próximo à embocadura do instrumento; o segundo, próximo às chaves, numa porção média do instrumento; e o terceiro, próximo ao final do instrumento. A montagem final dos microfones é mostrada na figura a seguir.

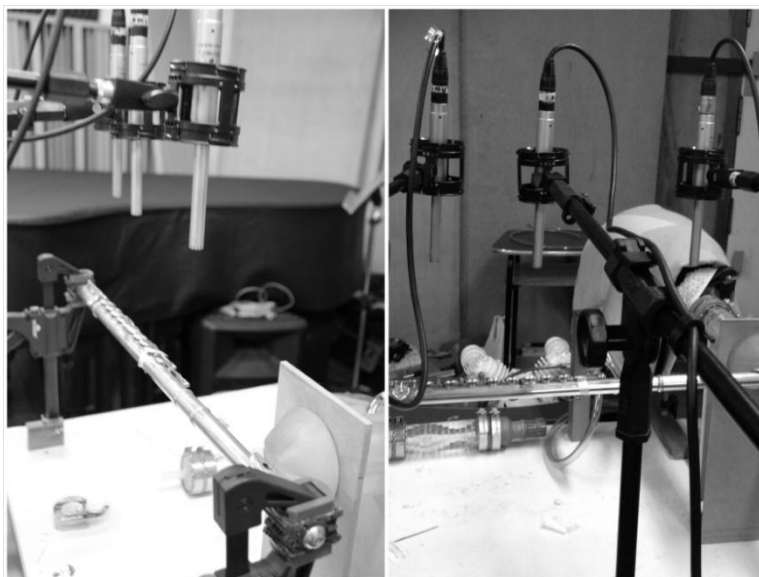


Figura 28: posicionamento dos microfones

Após terem sido encaixados e testados todos os suportes e conectores, foi realizada a montagem final para as gravações. As gravações foram realizadas em duas sessões, a primeira, com todos os testes com diferentes modelos de trato vocal, utilizando o tanque/pulmão de 5 litros de capacidade; e a segunda, da mesma forma, utilizando o tanque/pulmão de 3,5 de capacidade. A figura abaixo fornece uma visão geral da montagem final do experimento para as gravações.

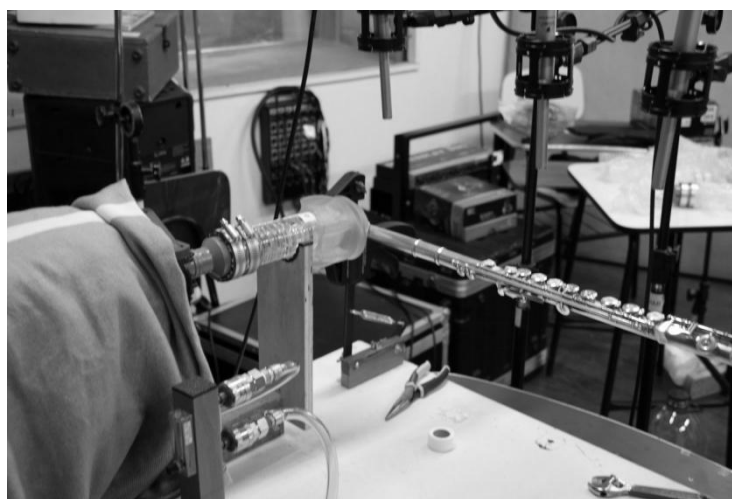


Figura 29: visão geral da montagem do experimento

Todas as gravações foram realizadas com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota dó na região média do instrumento, ou C4.

Para as gravações, primeiramente carregou-se o reservatório do compressor. Após o carregamento do reservatório, o motor do compressor pode ser desligado, evitando maiores ruídos desnecessários. A saída de ar é, então, aberta e, após a estabilização da pressão no manômetro, inicia-se a gravação. Todo o procedimento é repetido a cada nova amostra.

Foram gravadas cinco amostras com cada modelo de trato vocal, para cada tamanho de tanque/pulmão, com 3 microfones. Assim, ao final, foram recolhidas 150 amostras. As análises e os resultados são apresentados no capítulo 4.

3.5 Medição da impedância dos tratos vocais

A medição da impedância dos protótipos de trato vocal construídos para o experimento foi realizada no laboratório da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. As medições foram realizadas a partir das ferramentas desenvolvidas na pesquisa de mestrado de Rodolfo Thomazelli, com orientação da Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli.

Foi utilizado o método TMTC (Two-Microphones-Three-Calibrations), desenvolvido por Gibiat and Laloe (1990). De maneira resumida, pode-se compreender o método TMTC como um aparato que, a partir de dois microfones e um alto-falante, mede o sinal gerado pelo alto-falante após passar pelo tubo do qual se quer medir a impedância e, a partir das modificações específicas ocorridas nesse sinal, calcula a impedância do tubo. De acordo com o trabalho de Thomazelli (2013: 22):

dois microfones instalados na chamada cabeça de impedância, um duto cilíndrico e a base do aparato. Na extremidade inicial da cabeça é acoplado um alto-falante, e na extremidade final a impedância a ser medida. Os microfones e o alto-falante são ligados a uma interface de áudio, que por sua vez é conectada a um software de análise de sinais. O software manda um sinal para o alto-falante e recebe a resposta desse sinal captada pelos microfones. Os sinais são processados e, através de manipulações matemáticas, extrai-se [sic] informações desejadas (no caso, valores de impedância acústica). (THOMAZELLI, 2013: 22)

A figura abaixo mostra o esquema do aparato utilizado na medição da impedância, de acordo com o método TMTC.

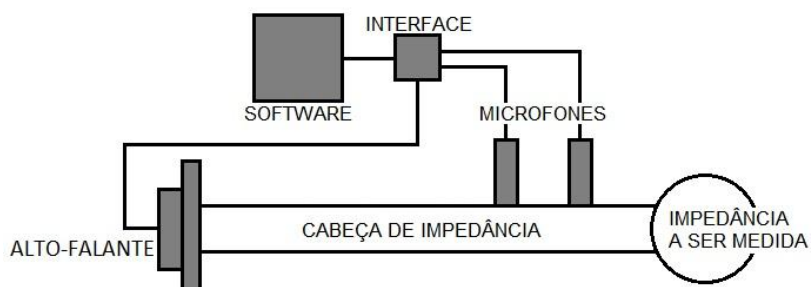


Figura 30: Esquema do aparato utilizado na medição da impedância dos tratos vocais. Adaptada de Gibiat e Laloé (1990).

Após a adaptação dos conectores que acoplam o tubo da cabeça de impedância aos tratos vocais, foram iniciadas as medições. A figura abaixo explicita um das medições.

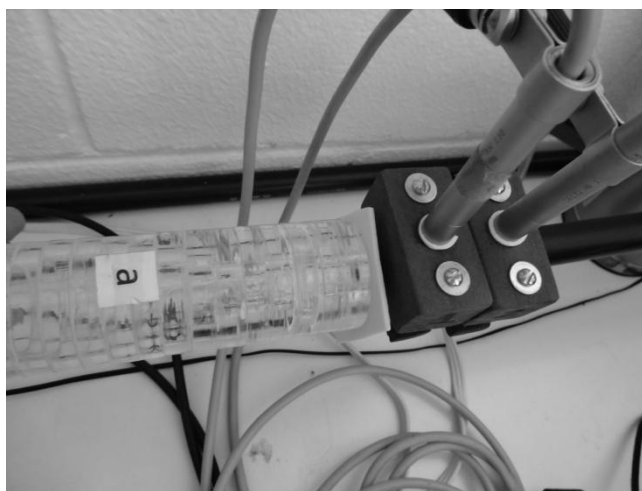


Figura 31: medições de impedância dos tratos vocais.

Todos os gráficos gerados são apresentados no anexo III. Os resultados serão discutidos no capítulo seguinte.

RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados os principais resultados dos experimentos. São realizadas análises comparativas dos resultados com o protótipo, das medidas da impedância dos tratos vocais e das entrevistas realizadas com flautistas.

4.1 Validação das amostras

Para testar a consistência e a validade dos dados obtidos, alguns testes foram necessários. Depois de colhidas as amostras do experimento, foi realizada a normalização de todos os resultados. Os quatro primeiros harmônicos de cada uma das cinco amostras de cada microfone foram comparados.

A observação das amostras gravadas a partir das três diferentes posições de microfone mostrou que as diferenças observadas não são expressivas e que as amostras são coerentes entre si.

Da mesma forma, são coerentes os resultados apresentados nas cinco amostras coletadas. Os quatro primeiros harmônicos de cada uma das amostras têm frequências consistentes com o esperado.

A frequência das amostras não sofre variações consideráveis, seja na fundamental ou nos quatro primeiros harmônicos. Foram escolhidos apenas os quatro primeiros harmônicos porque apenas eles estariam abarcados pela medição da impedância dos tratos vocais, como será disposto a seguir. O gráfico abaixo exemplifica esse comportamento nas amostras da vogal /a/. Os demais gráficos são apresentados no anexo IV.

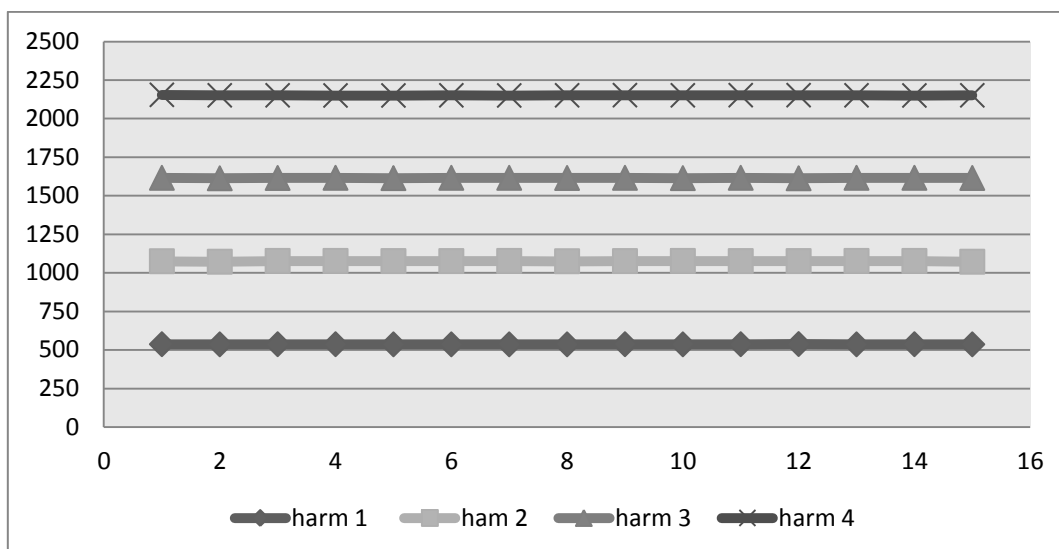


Figura 32: comportamento da frequência dos harmônicos da vogal /a/ nas cinco diferentes amostras gravadas.

Também as amplitudes foram comparadas. Novamente, os resultados se mostraram coerentes. As amplitudes dos quatro primeiros harmônicos não apresentaram diferenças significativas, com poucas variações. A tabela abaixo mostra os valores de amplitude dos quatro primeiros harmônicos nas cinco amostras gravadas com o trato vocal correspondente à vogal /a/ e o microfone 1, posicionado próximo ao bocal da flauta. Os resultados completos são apresentados no anexo IV.

		Harmônico 1	Harmônico 2	Harmônico 3	Harmônico 4
Mic 1	Amostra 1	-19,7 dB	-51,3 dB	-45,1 dB	-57 dB
		537 Hz	1075 Hz	1616 Hz	2154 Hz
	Amostra 2	- 17 dB	-46,7 dB	-45 dB	-55,5 dB
		536 Hz	1072 Hz	1613 Hz	2151 Hz
	Amostra 3	-15 dB	-49,6 dB	-42,8 dB	-57,5 dB
		537 Hz	1077 Hz	1615 Hz	2151 Hz
	Amostra 4	-16 dB	-50,3 dB	-42,4 dB	-55,5 dB
		537 Hz	1077 Hz	1616 Hz	2150 Hz
	Amostra 5	-17 dB	-48 dB	-43,6 dB	-54,7 dB
		536 Hz	1076 Hz	1614 Hz	2150 Hz

Tabela 9: frequências e amplitudes dos quatro primeiros harmônicos das cinco amostras gravadas com microfone 1 e trato vocal /a/

Foi verificada, ainda, a consistência dos resultados em relação às gravações realizadas com tamanhos de tanque/pulmão diferentes. As amostras foram gravadas, primeiramente, com um tanque/pulmão de 5 litros de capacidade e, em seguida, com um modelo de 2,5 litros de capacidade. Não houve diferenças significativas nas amostras, que, em geral, apresentaram comportamento bastante semelhante. A figura abaixo mostra a comparação entre a gravação do experimento com o tanque/pulmão de 5 e 2,5 litros, ambos com o trato vocal /e/ e registrados no microfone 2. A totalidade dos gráficos pode ser vista no anexo III.

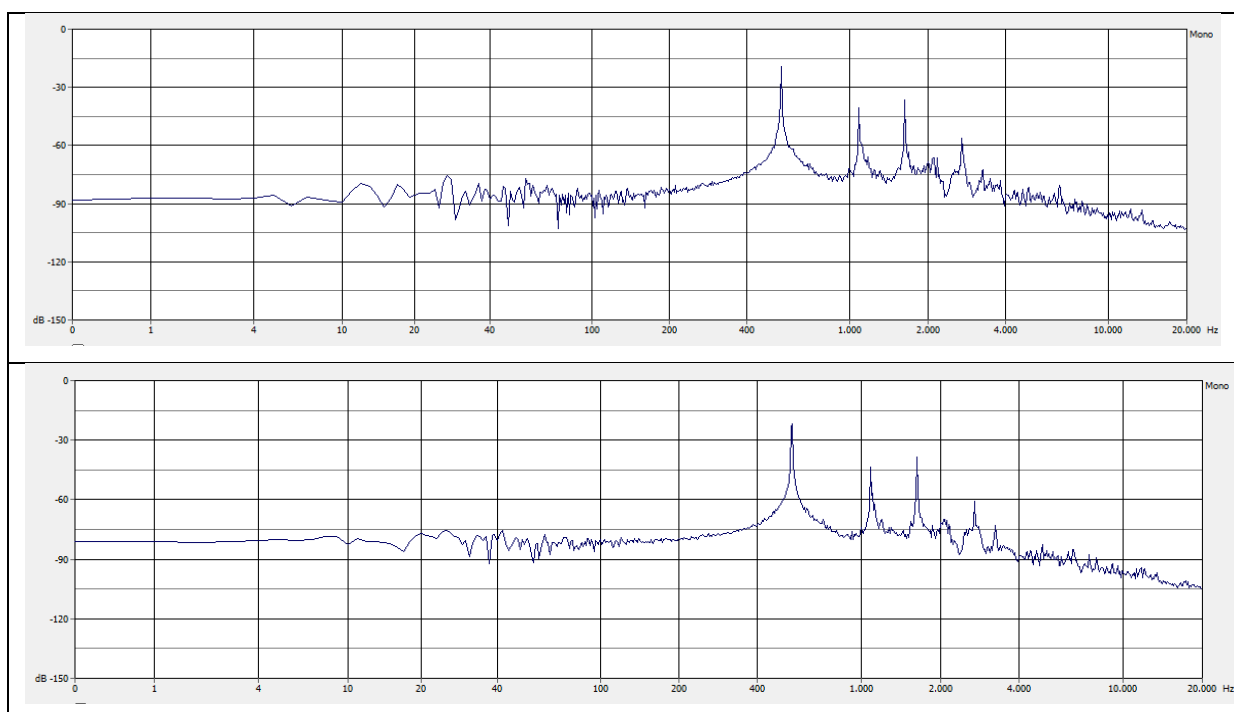


Figura 33: parte superior da imagem: gravação da vogal /e/ com tanque/pulmão de 5 l.
parte inferior da imagem: gravação da vogal /e/ com tanque/pulmão de 2,5 l.

A partir dessas comparações, verificou-se que as amostras gravadas são coerentes entre si, formando um resultado bastante consistente. Dessa forma, optou-se por utilizar apenas uma das amostras de cada trato vocal nas análises.

4.2 Entrevistas

Paralelamente aos experimentos, foram realizadas entrevistas qualitativas com quatro flautistas. As entrevistas foram livres, os entrevistados tiveram liberdade para discorrer o quanto julgassem necessário acerca dos temas propostos. Foram realizadas oralmente, à exceção da entrevista do flautista C, que preferiu enviar um texto escrito.

Todos os entrevistados são flautistas profissionais com mais de trinta anos de estudo do instrumento e lecionam em algumas das principais universidades públicas do país. Os resultados das entrevistas fornecem uma ideia geral acerca de como os flautistas utilizam o trato vocal para a prática e para o ensino do instrumento no Brasil.

As entrevistas completas podem ser encontradas no anexo II. Alguns flautistas entregaram as entrevistas por escrito, sem utilizar a grafia das vogais de acordo com o alfabeto fonético. A maneira como as frases foram originalmente escritas foi preservada.

Os flautistas foram unânimes em afirmar a relevância das diferentes configurações do trato vocal nas alterações de timbre produzidas no instrumento. Todos ressaltaram que o timbre, na flauta, deriva de um conjunto complexo de fatores e técnicas, como a velocidade e a pressão do jato de ar, o ângulo entre a boca e o orifício da embocadura, o uso de vibrato e também das configurações do trato vocal.

De forma geral, destacaram o uso das vogais /i/ e /u/. O flautista A afirmou utilizar a vogal /u/ para a região mais grave do instrumento e a vogal /i/ para adicionar brilho ao som: “para a região mais grave, uso o **u**, para a região mais aguda, o **ô** é melhor, pois engorda o som. Quando uso o **ô**, penso no ar mais embaixo. Para aumentar o brilho, uso o **î**”. Segundo o flautista A, a vogal **ô** funcionaria como uma espécie de “curinga” para melhorar a sonoridade do instrumento e soar “redondo”, no termo usado pelo músico.

O flautista B relata um uso bastante parecido das mesmas vogais: “(...) **u** para retirar harmônicos mais agudos, **i** para que o som fique mais estridente, com mais

harmônicos agudos”. E complementa: “na região mais grave, a articulação é melhor com o **u**”. Para o flautista B, a vogal **ô** seria responsável por um som mais “redondo”, utilizando o mesmo termo que o flautista A usou para descrever o som da flauta quando utilizada a configuração /o/ no trato vocal.

O flautista C destacou a utilização da vogal /u/ na região aguda para produzir um som menos agressivo:

Uma configuração que eu gosto muito para explorar o timbre, sobretudo na região aguda, é formatar a boca através da vogal **u**. Ela me possibilita uma boa abertura da garganta e também uma ampliação da cavidade bucal, proporcionando uma sonoridade menos agressiva, ou, em outras palavras, mais aveludada, arredondada.

O flautista D descreveu o uso das vogais /i/ e /e/ como forma de favorecer o brilho na região grave do instrumento e das vogais /u/ e /o/ para retirar o brilho na região aguda:

Uso uma vogal que tenha mais brilho no grave, que a língua suba, como no **i**, **ê**. Nunca vou tocar com uma vogal aberta, só se for harmonia, nota longa. Como solista, quero que o grave projete, então tenho que dar brilho. No médio, não preciso fazer muita coisa. No agudo, uso algo que tire o brilho, como **ô**, até mesmo **u**.

Os flautistas B e D destacaram também o uso de uma vogal que inexiste no Português, a vogal /ø/, correspondente à grafia ö do Alemão.

A partir desses relatos, é possível sintetizar os pontos coincidentes das entrevistas em três tópicos principais:

1. A mudança nas configurações do trato vocal altera o timbre da flauta
2. A vogal /i/ adiciona brilho ao som
3. A vogal /u/ retira brilho do som

Esses resultados serão comparados aos resultados do experimento para uma avaliação da utilização das configurações de trato vocal apontadas pelos flautistas entrevistados.

4.3 Impedância dos tratos vocais

Como mencionado no capítulo anterior, foi realizada a medição da impedância dos trato vocais construídos em acrílico. Os gráficos mostram as duas medidas realizadas: a primeira, das frequências entre 200 e 800 Hz e a segunda, das frequências entre 800 e 2500 Hz.

A validade dos testes de impedância realizados pode ser evidenciada a partir dos valores dos formantes das vogais correspondentes às configurações medidas. Formantes podem ser definidos como as zonas de ressonância em que o trato vocal intensifica determinados harmônicos, como discutido no capítulo dedicado à revisão de literatura.

Dessa forma, comparando-se os valores médios dos dois primeiros formantes das configurações testadas, as medições se mostraram coerentes.

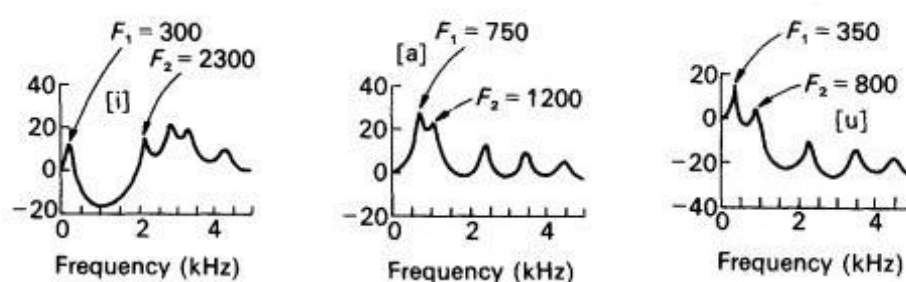


Figura 34: valores dos dois primeiros formantes das vogais /i/, /a/ e /u/. (LIEBERMAN e BLUMSTEIN, 1988: 176)

A flauta, ao contrário de outros instrumentos da família das madeiras, é tocada com níveis mínimos de impedância, por se tratar de um tubo aberto nas duas extremidades, assim como o didjeridu, medido por Tarnopolsky *et al.* (2006). A esse

respeito, Li *et al.* (2013: 417) afirmam que os máximos do espectro sonoro são relacionados ao mínimos no espectro de impedância:

no caso do didjeridu, os máximos de impedância do trato vocal correspondem intimamente aos mínimos no envelope espectral do som irradiado, enquanto máximos no espectro de som irradiado estão correlacionadas com os níveis mínimos nos espectros de impedância. (Li *et al.*, 2013: 417).

Assim, ao se medir a impedância dos tratos vocais, procurou-se relacionar os vales de impedância a uma valorização de determinadas regiões do espectro sonoro. Ainda com as perturbações indesejadas, evidenciadas nos gráficos, os resultados experimentais trazem informações relevantes acerca dos mínimos de impedância. A medição da impedância foi realizada utilizando-se o método Two-Microphones-Three-Calibrations e mais detalhadamente descrita no capítulo anterior, seção 3.5.

As duas medições foram colocadas lado a lado a fim de facilitar a visualização geral dos vales e picos de cada trato vocal analisado. No protótipo de trato vocal correspondente à vogal /a/, temos dois principais vales, o primeiro, na região próxima a 850 Hz e o segundo, em torno de 1650 Hz.

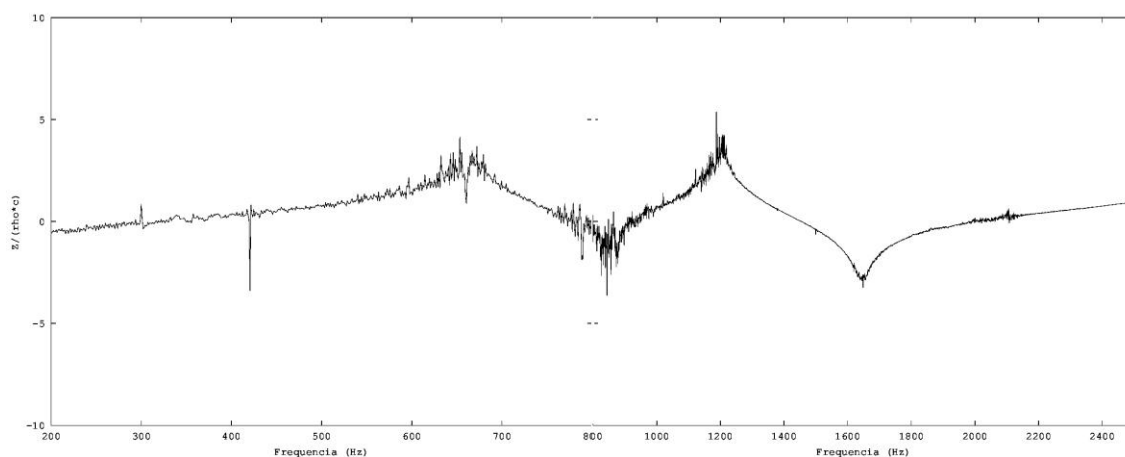


Figura 35: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /a/.

Na medição de impedância para o protótipo de trato vocal correspondente à vogal /e/, os vales são menos pronunciados que na vogal anterior. O principal vale é

encontrado em cerca de 800 Hz, e um vale secundário pode ser encontrado em torno de 1900 Hz.

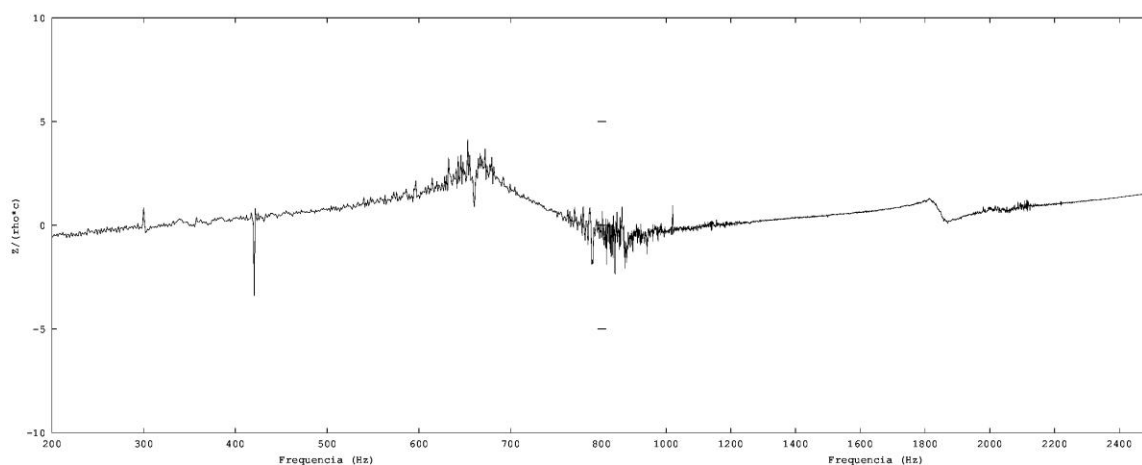


Figura 36: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /e/

Para o trato vocal correspondente à vogal /i/, temos um vale mais pronunciado em torno de 530 Hz e outro, menos pronunciado, por volta de 2400 Hz. Há dois picos, que são encontrados em cerca de 250 e 2300 Hz.

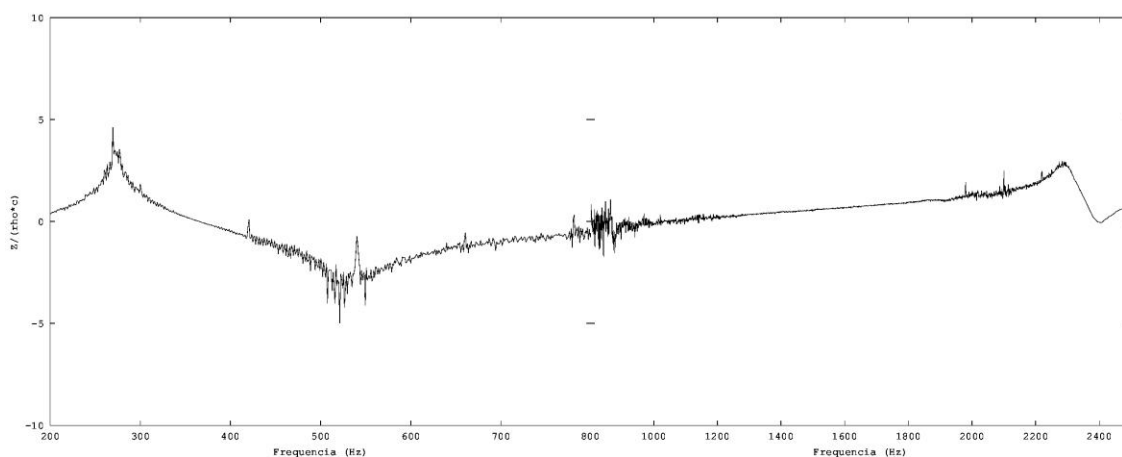


Figura 37: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /i/

No trato vocal correspondente à vogal /o/, as medições de impedância encontraram vales bastante pronunciados em torno de 600 e 1400 Hz.

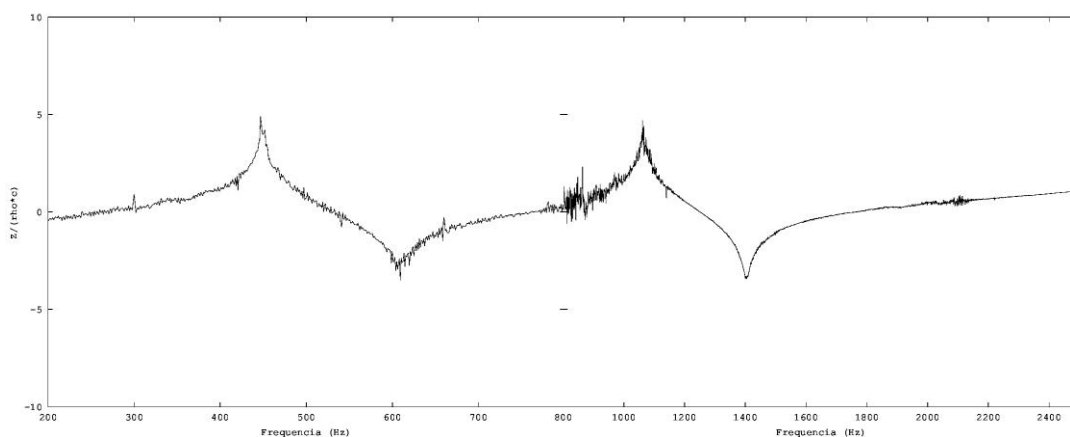


Figura 38: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /o/

No trato vocal correspondente à vogal /w/, temos um vale principal bastante pronunciado em 620 Hz e outro, secundário, em 1400 Hz.

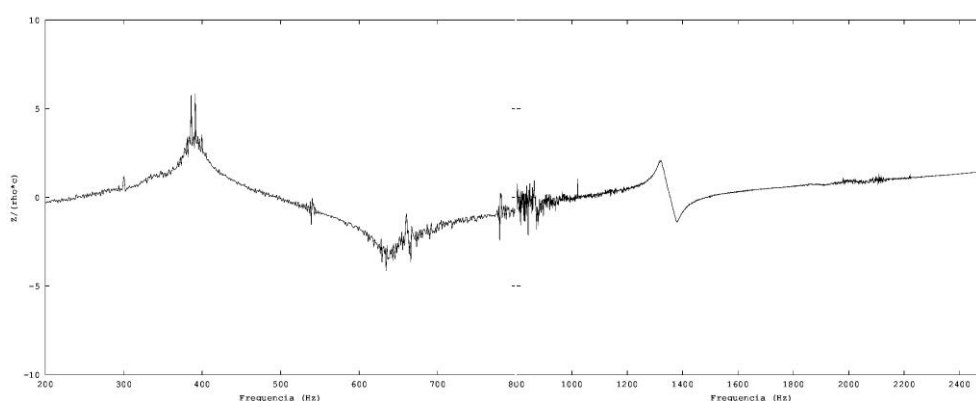


Figura 39: gráfico da impedância do tubo do protótipo de trato vocal relativo à vogal /w/

4.4 Comparações

Foram reunidos os gráficos de impedância e do espectro das gravações, a fim de que se possa realizar uma comparação mais clara e imediata entre os resultados. Para a visualização, foi realizada a superposição das curvas de impedância dos protótipos de trato vocal e de frequência e amplitude das amostras gravadas. Os

resultados são apresentados em dois gráficos, separadamente, pois foram realizadas duas medições distintas de impedância. A primeira, abrangendo as frequências de 200 a 800 Hz, e a segunda, abrangendo as frequências de 800 a 2500 Hz. Foram escolhidas essas frequências por abrangerem todas as regiões nas quais a flauta comumente trabalha.

Cabe ressaltar que as amostras dos sons foram normalizadas. Todavia, não foi normalizada a energia total dos gráficos, mas a forma de onda. Assim, a comparação entre as amostras é apenas relativa, embora ainda seja possível extrair informações válidas.

O primeiro gráfico, à esquerda, mostra a relação entre a impedância e o espectro sonoro entre 200 e 800 Hz. A configuração de trato vocal utilizada na gravação corresponde à vogal /a/. A fundamental encontra-se em torno de 538 Hz. A fundamental está posicionada na porção inicial do pico de impedância, o que pode significar certa perda de energia nesse harmônico. A intensidade da fundamental é de -10dB, ligeiramente mais fraca se comparada à intensidade encontrada nas configurações relativas às vogais /i/ e /w/.

A seguir, no gráfico à direita, que mostra as curvas de impedância e espectro sonoro entre 800 e 2500 Hz, ainda a configuração relativa à vogal /a/. O segundo harmônico, em torno de 1076 Hz é encontrado próximo ao principal pico de impedância, o que pode explicar sua intensidade mais fraca, especialmente se comparado ao terceiro harmônico que, encontrado bem próximo ao mínimo de impedância, tem sua intensidade favorecida.

Nesse caso, o terceiro harmônico tem a maior intensidade dentre todas as demais configurações testadas, cerca de -36 dB. O quarto harmônico encontra-se na porção ascendente da curva de impedância, não havendo influência considerável como no harmônico anterior.

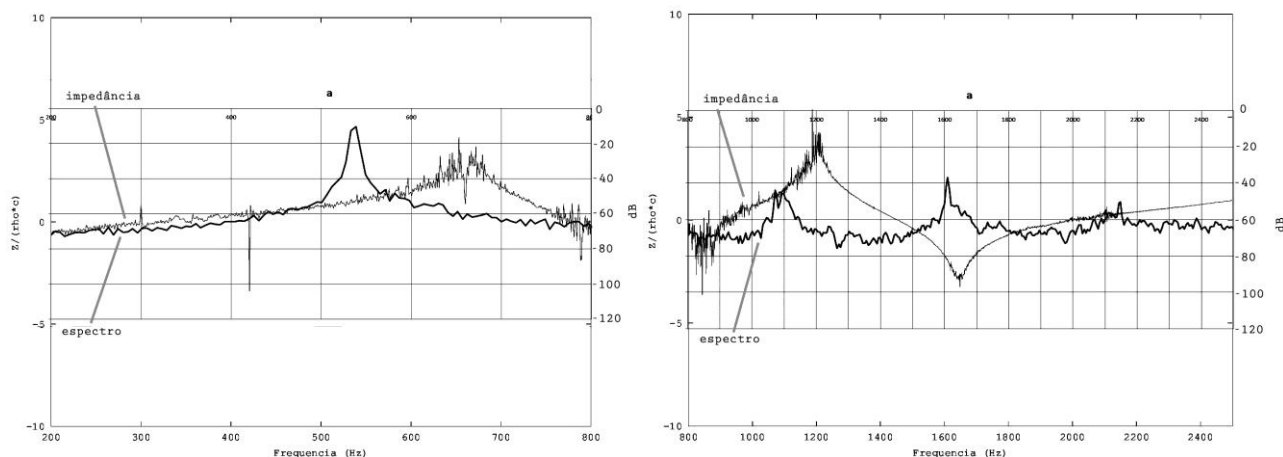


Figura 40: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /a/

Em seguida são apresentados os gráficos correspondentes à configuração de trato vocal relativa à vogal /e/. O primeiro harmônico mostra-se um pouco abaixo do primeiro vale de impedância, como também ocorre nos gráficos correspondentes às configurações /o/ e /w/. Os harmônicos seguintes mostram, sucessivamente, menos intensidade que o anterior. Não há um vale ou pico de impedância pronunciado na porção do gráfico relativa às frequências de 800 a 2500 Hz. As medições relativas à vogal /e/ são relativamente uniformes, não havendo um harmônico que seja especialmente favorecido por essa configuração.

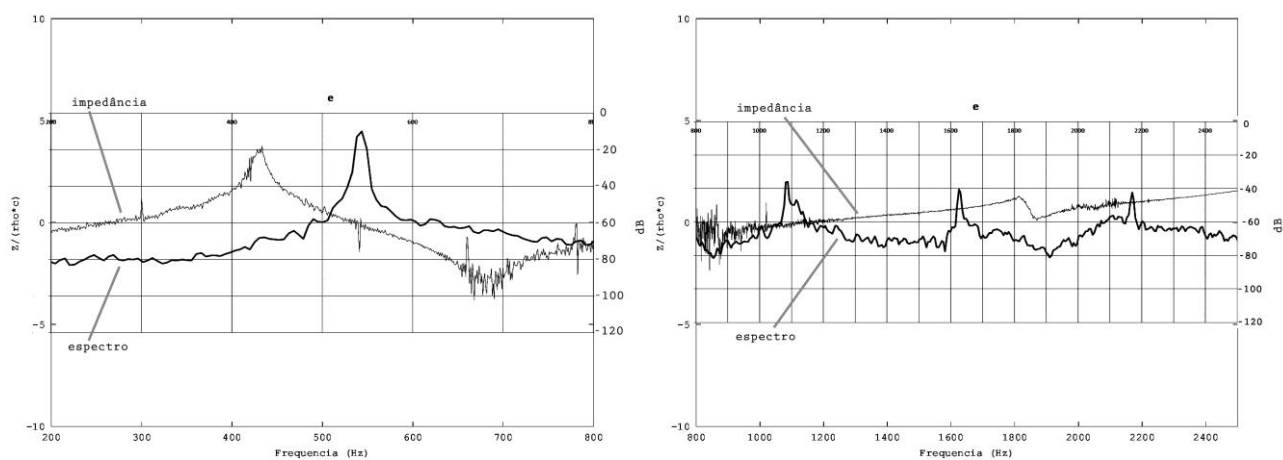


Figura 41: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /e/

Para a configuração de trato vocal relativa à vogal /i/, a fundamental encontra-se muito próxima ao principal vale de impedância. Os harmônicos seguintes encontram-se numa linha crescente que culmina no principal pico de impedância, próximo a 2300 Hz.

Apesar de não se demonstrar muito claramente no gráfico, a configuração /i/ tem o quarto harmônico mais intenso dentre todas as outras configurações, com -54,8 dB. A falta de clareza do gráfico decorre da intensidade de todas as frequências próximas ao quarto harmônico, todas bastante acentuadas.

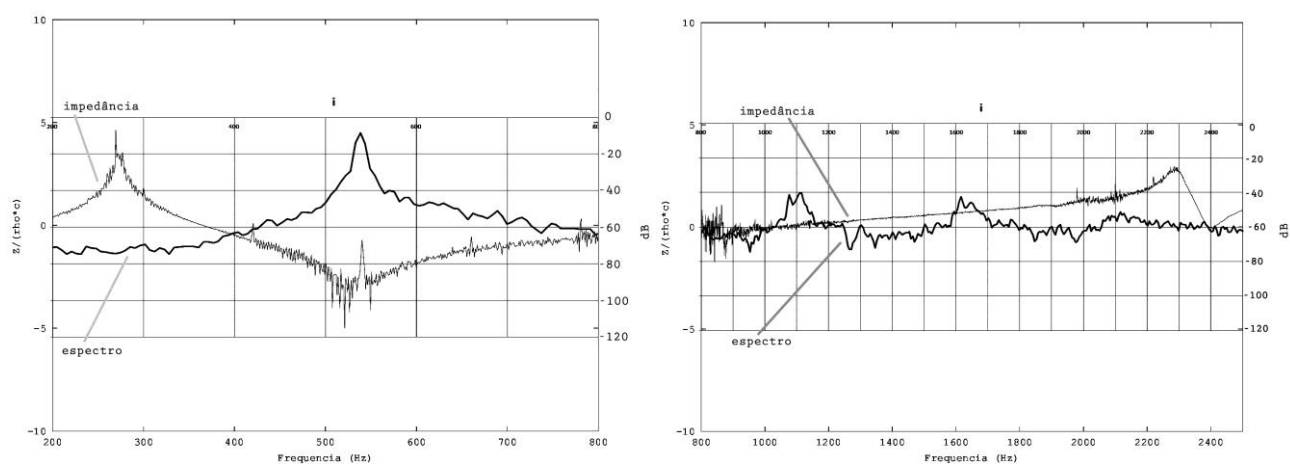


Figura 42: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /i/

A configuração relativa à vogal /o/, assim como a vogal /e/, tem a fundamental um pouco abaixo do primeiro vale de impedância, localizado em cerca de 610 Hz. O segundo harmônico encontra-se próximo ao segundo pico de impedância.

Apesar disso, não tem sua intensidade tão reduzida quanto na configuração correspondente à vogal /a/. Isso pode ser ocasionado pela posição do vale de impedância seguinte, que, no caso da vogal /a/, está colocado junto ao terceiro harmônico e, no caso da vogal /o/, é anterior ao terceiro harmônico, com declive bastante mais acentuado, se comparado à vogal /a/.

Além de o terceiro harmônico ser menos acentuado que na vogal /a/, também o quarto harmônico é menos atenuado. Dessa forma, parece-nos que a vogal /o/ tem uma característica mais constante, especialmente se comparada à vogal /a/.

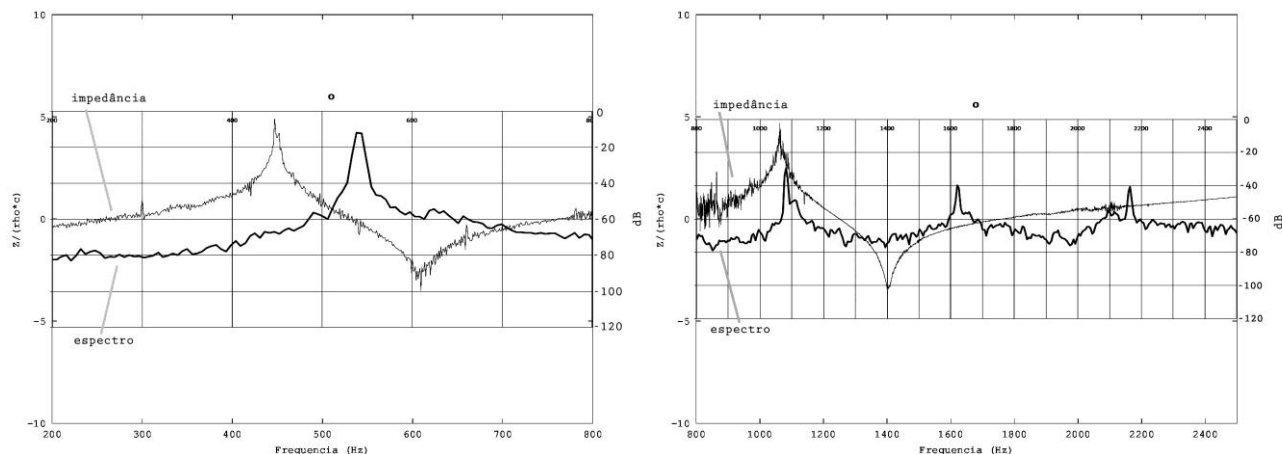


Figura 43: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /o/

A configuração referente à vogal /w/ tem a fundamental, assim como a vogal /e/ e a vogal /o/, um pouco abaixo do primeiro vale de impedância. Todavia, a fundamental da vogal /w/ está mais próxima ao vale que a vogal /e/ e mais distante do vale, se comparada à vogal /o/. Dessas três, a vogal /o/ seria a que sofreria maior influência do vale de impedância na fundamental.

Na segunda parte do gráfico, é possível visualizar os três harmônicos seguintes. O primeiro encontra-se numa curva ascendente para um pequeno pico de impedância, seguido por um pequeno vale. O terceiro e o quarto harmônico encontram-se na curva ascendente que se segue a esse vale. Há progressiva diminuição da intensidade dos harmônicos.

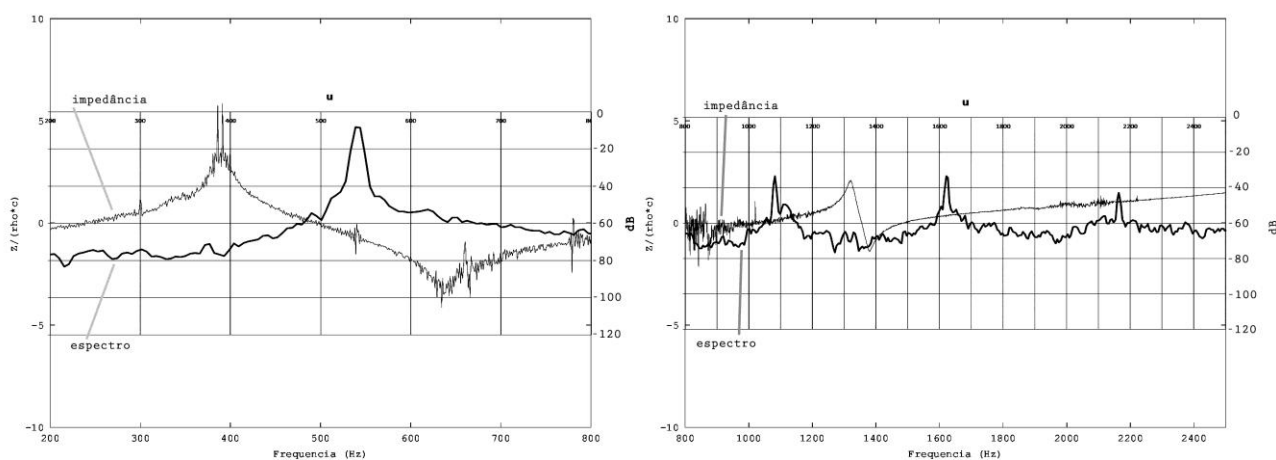


Figura 44: gráficos de impedância e espectro relativos à vogal /w/

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O presente trabalho buscou evidenciar a relação entre as diferentes configurações de trato vocal e a sonoridade da flauta transversal. Partiu-se da observação e vivência da autora acerca dessa relação, em geral, percebida empiricamente pelos instrumentistas.

Foi realizado um experimento com um mecanismo artificial capaz de gerar sons na flauta, no qual se pode observar com maior objetividade determinadas configurações de trato vocal. O experimento consistiu em um aparato composto por uma fonte de ar, um tanque/pulmão, modelos de trato vocal, embocadura artificial e o instrumento. Os resultados desse experimento foram gravados e, posteriormente, analisados.

Os tratos vocais foram construídos a partir de anéis de acrílico que, sobrepostos, formavam em seu interior a configuração pretendida. Foram, no total, elaborados cinco modelos de trato vocal, de acordo com a configuração correspondente a cinco diferentes vogais.

Realizou-se a medição da impedância dos modelos de trato vocal, utilizando o método TMTC (Two-Microphones-Three-Calibrations). Esse método utiliza dois microfones e um alto falante para medir a impedância de um tubo.

Como forma de compreender a utilização das diferentes configurações de trato vocal pelos flautistas, foram realizadas entrevistas qualitativas com flautistas profissionais e professores com larga experiência na execução e no ensino do instrumento.

A observação dos gráficos evidenciou que ocorreram alterações significativas na sonoridade da flauta a partir da mudança da configuração do trato vocal. De modo geral, a vogal /i/ apresentou o quarto harmônico com a maior intensidade, possivelmente por ser a configuração de trato vocal que mostrou o vale de impedância mais alto dentre todas as configurações medidas. Tal resultado é coerente com o que apontaram as entrevistas com os flautistas, que afirmaram que a vogal /i/ adiciona “brilho” à sonoridade da flauta. Sendo a sensação de brilho intimamente ligada aos harmônicos superiores, é possível que a experiência dos flautistas esteja associada a esse fenômeno.

A configuração relativa à vogal /a/ apresentou o segundo harmônico ressaltado, mas a fundamental e os outros harmônicos tiveram valores médios em relação às outras configurações. Dessa maneira, não foi possível observar um comportamento específico dessa configuração.

A vogal /o/ apresentou o vale de impedância mais pronunciado em relação às demais configurações medidas, seguido pela vogal /a/. Essas duas vogais são, também, as que apresentaram maior volume de trato vocal, 89873 mm³ para a vogal /a/ e 79098 mm³ para a vogal /o/, como apresentado na tabela 8, indicando uma relação entre o volume do trato vocal e a impedância.

A vogal /o/ foi apontada pelos flautistas como uma vogal que traz “corpo” ao som, um som mais “redondo”, num termo recorrentemente aplicado pelos músicos. É possível associar esse tipo de afirmação tanto ao volume interno do trato vocal como ao vale de impedância pronunciado, ambos conferindo maior densidade ao som.

A vogal /w/ apresentou os dois vales de impedância relativamente próximos, sendo que o segundo vale é pouco pronunciado, havendo uma grande curva ascendente que abrange o terceiro e o quarto harmônicos. Isso poderia favorecer as regiões mais graves do instrumento. Há certa relação com o que foi relatado nas entrevistas em relação a essa vogal.

Por sua vez, a configuração relativa à vogal /e/ apresentou um desenho da curva de impedância mais plano, sem vales ou picos muito pronunciados, o que não trouxe uma conclusão acerca dessa configuração.

Assim, há evidência de que as diferentes configurações do trato vocal são capazes de modificar a sonoridade da flauta. Todavia, o estudo de como ocorrem essas alterações e em que medida elas ocorrem não termina aqui. As possibilidades de aprofundar esse estudo são diversas. São elencadas algumas delas.

Primeiramente, testar os resultados obtidos em diferentes regiões da flauta poderia auxiliar a realização de um mapeamento das alterações, verificando se há, de fato, como apontado nas entrevistas dos flautistas, determinadas configurações que favorecem regiões mais agudas e/ou mais graves do instrumento.

Nesse sentido, a medição da impedância dos tratos vocais dos flautistas, em situação de execução, como realizado por Fritz (2004) em relação a clarinetistas, poderia fornecer mais informações acerca de como, de fato, os instrumentistas utilizam as diferentes configurações de trato vocal.

Outra perspectiva de aprofundamento desse estudo seria a formalização matemática dos resultados. Scavone (2003) realizou a modelagem do trato vocal para instrumentos de palheta e Oliveira, Goldemberg e Manzolli (2006) propõem a síntese por modelagem física da clarineta. Um modelo matemático poderia auxiliar na medição de um maior número de configurações de trato vocal, fornecendo um escopo praticamente completo das alterações, o que acarretaria um trabalho muito maior e com mais margens de erro se realizado a partir de um protótipo.

Por fim, o presente trabalho cumpriu seu principal objetivo ao elucidar a questão da influência das diferentes configurações de trato vocal na sonoridade da flauta. A pesquisa trouxe evidências dessa influência e, paralelamente, traçou perspectivas para que o estudo possa ser continuado em outros trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, André. CHOW, Renee. SMITH, John. WOLFE, Joe. The kinetics and acoustics of fingering and note transitions on the flute. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 126 (3), p.1521 - 1529, Set. 2009.

ARAI, Takayuki. The Replication of Chiba and Kajiyama's Mechanical Models of the Human Vocal Cavity. In: *Journal of the Phonetic Society of Japan* (5) 2, p. 31 – 38, Ago. 2001.

BACKUS, J. Vibrations of the reed and the air column in the clarinet. In: *J. Acoust. Soc. Am.*, 33 (6), 1961.

BAK, N., DOMLER, P. The relation between blowing pressure and blowing frequency in clarinet playing. In: *Acustica*, 63, p. 238-241, 1987.

BAKUS, John. *The acoustical foundations of Music*. New York: W W Norton, 1997. 368 p.

BEARD, David; GLOAG, Kenneth. *Musicology: The Key Concepts*. New York: Routledge, 2005. 217 p.

BENADE, Arthur H. *Fundamentals of musical acoustics*. New York: Dover Publications, 1990. 596 p.

BOX, George E. P.; HUNTER, J. Stuart; HUNTER, William G. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005. 639 p.

CHIBA T.; KAJIYAMA M. *The Vowel: Its Nature and Structure*. Tokyo: Tokyo-Kaiseikan Publishing Company Ltd. 1941. 236 p.

COELHO, Fabiana Moura. *O Trato Vocal e a Qualidade Sonora da Flauta*. 2006. 61 p. (Mestrado em Música). Universidade Federal de Minas Gerais, 2006

COELHO, Fabiana Moura. IAZZETTA, Fernando Henrique de Oliveira . Measuring the influence of the vocal tract in the timbre of the flute: preliminary aspects. In: *18th*

International Congress on Sound and Vibration, 2011, Rio de Janeiro. Anais do 18th International Congress on Sound and Vibration. Rio de Janeiro: ICSV, 2011.

COLTMAN, J. W. Resonance and Sounding Frequencies of the Flute. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 40, p. 99 – 107, 1966

COLTMAN, John W. Acoustical analysis of the Boehm flute. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 65 (2), p. 499 – 506, Fev. 1979

COLTMAN, John W. Mouth resonance effects in the flute. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* p. 417 – 420, Mar. 1973

FABRE, Benoit; GILBERT, Joël; HIRSCHBERG, Avraham; PELORSON, Xavier. Aeroacoustics of Musical Instruments. In: *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2011. Disponível em <<http://fluid.annualreviews.org>>. Acesso em set. 2013.

FANT, Gunnar. *Acoustic Theory of Speech Production*. Paris: Mouton De Gruyter, 1970. 328 p.

FRANCO, Ney. *Avaliação Psicoacústica do desenho de barrilhetes: Variações sonoras percebidas na clarineta*. 2005. 127 p. (Mestrado em Música) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

FRITZ, Claudia. *La clarinette et Le clarinettiste: Influence Du conduit vocal sur la production du son*. 2004. 215 p. (Doutorado em Acoustique, Traitement Du signal et Informatique Appliqués à la Musique) – Université Paris 6, University of New South Wales, Paris, 2004.

FRITZ, Claudia. WOLFE, Joe. How do clarinet players adjust the resonances of their vocal tracts for different playing effects? In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 118(5), p. 3306 – 3315, 2005

GALLI, Raffaele. *L'Indispensabile metodo pratico per flauto*. Itália: Ricordi, 1980.

GARCIA, Carmen Silva. *Pattápio Silva: flautista virtuose, pioneiro da belle époque brasileira*, 2006. 167f. (Mestrado em Música) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GARCIA, Maurício Freire. *Density 21.5: Beyond Pitch Organization*. 2002. 114 f. Tese (Doctor of Musical Arts) – New England Conservatory, Boston, 2002.

GIBIAT, V; LALOE, F. Acoustical impedance measurements by the two-microphonethree-calibration (tmtc) method. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 88, 6, p. 2533-2545,1990.

GONÇALVES, Maria Inês Rebelo. PONTES, Paulo Augusto Lima. VIEIRA, Vanessa Pedrosa. PONTES, Antônio Augusto de Lima. CURCIO, Daniela. DE BIASE, Noemi Grigoletto. Função de transferência das vogais orais do Português brasileiro: análise acústica comparativa. In: *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 75 (5) setembro/outubro de 2009. Disponível em <<http://www.bjorl.org.br>>. Acesso em 03 de Out. 2011.

HENRIQUE, Luís L. *Acústica Musical*. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2009, 1130 p.

HOWAT, Roy. What do we perform? In: RINK, John. (Ed.). *The practice of performance: studies in musical interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. Cap. 1, p. 3 – 20.

JEANS, Sir James. *Science and Music*. New York: Dover, 1968. 258 p.

KENT, Ray D; READ, Charles. *The Acoustic Analysis of Speech*. 2. ed. Madison: Singular, 2002. 311 p.

LAMKIN, Linda Landeros. An Examination of Correlations between Flutists' Linguistic Practices and Their Sound Production on the Flute. In: *Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Muscology*, Montreal, 2005. P. 1 – 18.

LAURIN, Dan. *The relation between the vocal tract and recorder sound quality*. Disponível em: <<http://www.danlaurin.com/>>. Acesso em: 21 nov. 2004.

LESTER, Joel. Performance and analysis: interaction and interpretation. In: RINK, John. (Ed.). *The practice of performance: studies in musical interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. Cap. 9, p. 197 – 216.

LI, Weicong. CHEN, Jer-Ming. SMITH, John. WOLFE, Joe. Vocal tract effects on the timbre of the saxophone. In: : *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics*

Conference, Estocolmo, 2013. p. 415 – 418. Disponível em: <http://www.speech.kth.se/smac-smc-2013/proceedings/SMAC2013_Proceedings_online-version.pdf>.

Acesso em 01 ago. 13.

LIEBERMAN, Philip; BLUMSTEIN, Sheila. E. *Speech physiology, speech perception, and acoustic phonetics*. Cambridge Studies in Speech Science and Communication. Cambridge: Cambridge University Press, 1988, 249 p.

LOUREIRO, Maurício A. PAULA, Hugo B. de. Timbre de um instrumento musical. In: *Per Musi*, Belo Horizonte, n.14, 2006, p.57-81

MACMAHON, Mike. Throat resonance, vowel sounds. Disponível em: <<http://www.larrykrants.com/Mike.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2004.

MAEDA, Eri *et al.* Comparing the characteristics of the plate and cylinder type vocal tract models. In: *Acoust. Sci. & Tech.* 25, 1, p 64 – 65, Jun. 2003.

MATHER, Roger. Your Throat, Sinus and Mouth Resonances: Friends or Foes? In: *The Flutist's Handbook: A Pedagogy Anthology*. Santa Clarita: National Flute Association, p. 75 – 79, 1998.

MAYER, A. RIAM - Reed Instrument Artificial Mouth: a computer controlled excitation device for reed instruments. In: *Proc. SMAC*, vol. 1, Estocolmo, 2003, p. 279 – 282

MOONEY, J. *The effect of the oral cavity on the tone quality of the clarinet*. (Tese de Doutorado) – Brigham Young University, 1968.

MOYSE, Marcel. *De la Sonorité: Art e Technique*. Paris: Alphonse Leduc, 1934.

MOYSE, Marcel. *Gammes et Arpèges- 480 exercices pour flute*. Paris: Alphonse Leduc, 1933.

OLIVEIRA, Luís Carlos de; FURLANETE, Fábio; GOLDEMBERG, Ricardo; MANZOLLI, Jônatas. Modelo Empírico da Sonoridade da Clarineta: Análise e Síntese Sonora. In: *Anais do 5º Congresso / 11ª Convenção Nacional da AES Brasil*, p. 51 – 57, Mai. 2007.

QUANTZ, Johann Joachim. *On Playing the Flute: the Classic of Baroque Music Instruction*. Tradução de Edward R. Reilly. 2. ed. Boston: Northeastern University

Press, p. 49 – 59, 2001.. Título original: Versuch einer Anweisung, die Flöte traversière zu spielen, 1752

RISSET, Jean-Claude e WESSEL, David L. Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis. In: *Psychology of Music*. D. Deutsch (Ed.).San Diego, California: Academic Press, 1999, p.25-58.

SAWADA, Yasuji. SHIEGEO, Sakaba. On the transition between the sounding modes of a flute. In: *Journal Acoustic Soc. Am.* 67(5), p. 1790 – 1794, 1980

SCAVONE, Gary P. Modeling vocal-tract influence in reed wind instruments. In: *Stockholm Music Acoustics Conference*, Estocolmo, p. 1 – 4, 2003.

SILVA, Pattapio. *Oriental: peça característica para Flauta e Piano*. São Paulo: Irmãos Vitale, 2000. O livro de Pattapio Silva: obra completa para flauta e piano (Coleção João Dias Carrasqueira).

SMITH, J. R., HENRICH, N., WOLFE, Joe. The acoustic impedance of the boehm flute: standard and some non-standard fingerings. In: *Proc. Inst. Acoustics*, p. 315 – 330, 1997.

SUNDBERG, Johan. Perception of Singing. In: *Musical Acoustics*, p. 1 – 17, 1979.

TARNOPOLSKY, A., FLETCHER, N., HOLLENBERG, L., LANGE, B., SMITH, J., WOLFE, J. Vocal tract resonances and the sound of the Australian didjeridu (yidaki): experiment. In: *Journal Acoustic Soc. Am.*, vol 119, 2006, p. 1194 – 1204.

TAFFANEL, Paul. GAUBERT, Philip. *Méthode Complete de Flûte*. Paris: Alphonse Leduc, 1958.

THOMAZELLI, Rodolfo. BERTOLI, Stelamaris R. Análise dos métodos experimentais destinados à investigação da impedância acústica das flautas. In: *Anais do XIV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, p. 203 -209, 2012.

THOMAZELLI, Rodolfo. Construção e validação de um medidor de impedância para sistemas tubulares, 2013, 73f. (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

WOLFE, Joe. ALMEIDA, André. CHEN, Jer Ming. GEORGE, David. HANNA, Noel. SMITH, John. The player-wind instrument interaction. In: *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Estocolmo, 2013. p. 323 – 330. Disponível em <http://www.speech.kth.se/smac-smc-2013/proceedings/SMAC2013_Proceedings_online-version.pdf>. Acesso em: 01 ago. 13.

WOLFE, J; TARNOPOLSKY, A.Z; FLETCHER, N.H; HOLLENBERG, L.C.L; SMITH, J. Some effects of the player's vocal tract and tongue on wind instrument sound. In: *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Estocolmo, 2003. p. 307-310. Disponível em: <<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/reprints/tongueSMAC.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 10.

WOLFE, Joe. GARNIER, Maëva. SMITH, John. Vocal tract resonances in speech, singing and playing musical instruments. In: *Human Frontier Science Program Journal*, 3, p. 6 – 23, 2009.

Anexo I

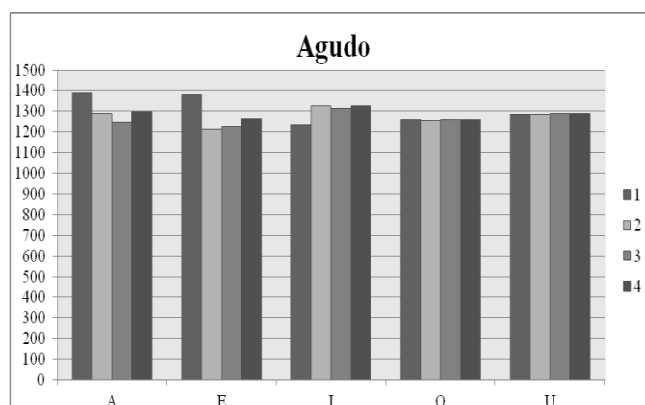
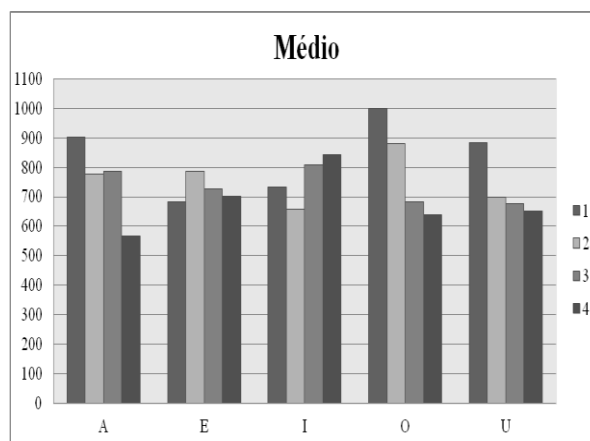
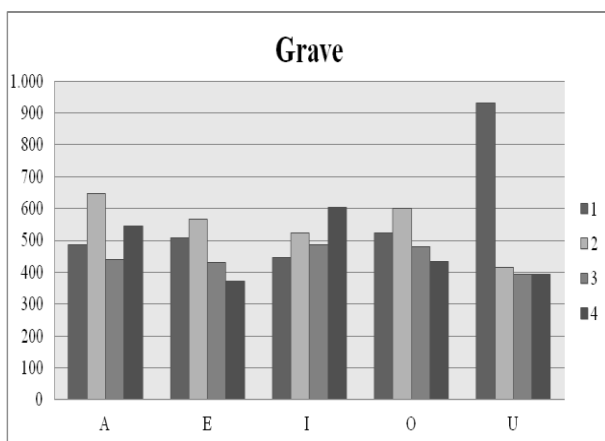
Tabelas e gráficos das medições de centroide espectral

1. Amostra completa

	som	média	Desvio padrão
Re grave a	1	486,176	58,9064
	2	646,451	42,8174
	3	440,55	67,9027
	4	543,75	85,8551
Re grave e	1	508,938	101,83
	2	565,532	83,6698
	3	430,076	52,1431
	4	370,456	50,3382
Re grave i	1	446,269	62,7593
	2	522,983	76,7588
	3	486,176	58,9064
	4	602,493	89,6137
Re grave o	1	522,487	96,6251
	2	600,278	93,0932
	3	481,503	65,0097
	4	434,702	58,0878
Re grave u	1	931,428	41,5527
	2	415,814	40,8118
	3	393,963	29,0289
	4	393,964	29,964
Re médio a	1	902,671	95,6498
	2	775,604	55,295
	3	786,801	91,1039
	4	566,562	128,909
Re médio e	1	683,975	41,6529
	2	785,541	65,5208
	3	726,085	50,4931
	4	701,085	45,2911
Re médio i	1	731,628	46,8773
	2	658,485	39,8043
	3	808,233	78,2331
	4	841,986	90,7555
Re médio o	1	1000,51	142,184
	2	881,344	119,845
	3	681,358	36,8306
	4	637,861	32,3447
Re médio u	1	884,722	57,8584
	2	699,208	28,6064
	3	677,584	54,4593
	4	650,424	32,1135
Re agudo a	1	1387,71	244,353
	2	1288,04	253,01
	3	1248,58	63,3701
	4	1296,94	33,502
Re agudo e	1	1380,29	158,336
	2	1215,05	17,4013
	3	1224,45	53,2916
	4	1265,17	60,5902

Re agudo i	1	1234,01	287,373
	2	1328,06	351,749
	3	1315,06	146,654
	4	1325,5	334,343
Re agudo o	1	1257,97	96,2543
	2	1255,13	106,65
	3	1261,33	200,673
	4	1258,19	98,1559
Re agudo u	1	1284,95	96,6699
	2	1285,02	96,7268
	3	1288,62	117,824
	4	1287,44	109,024

2. Gráficos comparativos

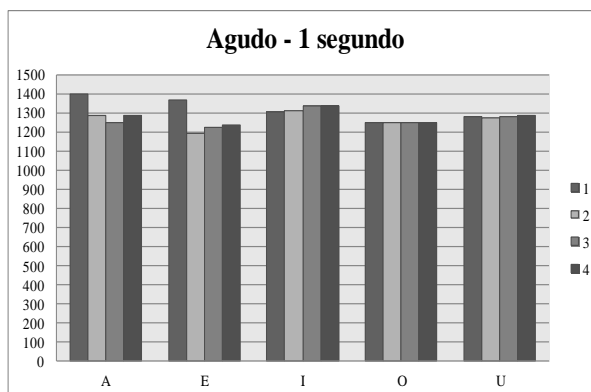
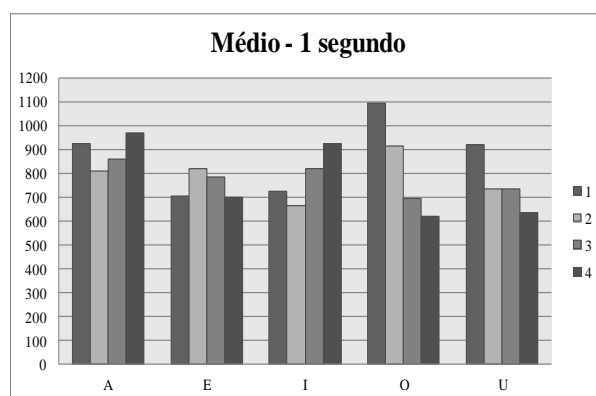
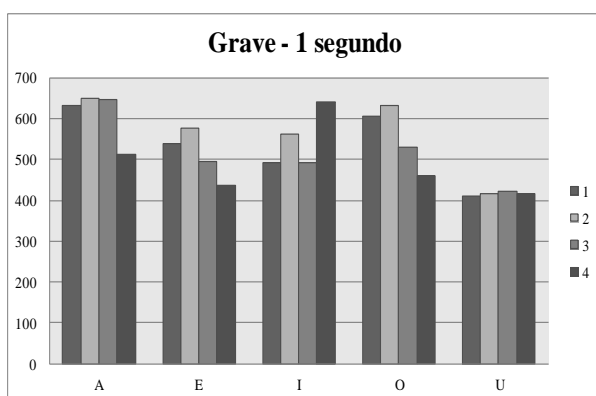


3. Recorte de 1 segundo

Som (1 segundo)			Com fade		
		média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
Re grave a	1	632,5	24,241	623,467	24,2302
	2	649,181	26,6747	649,21	26,6701
	3	647,181	26,6747	421,56	48,99
	4	513,958	59,0377	513,96	59,0354
Re grave e	1	539,493	61,4114	539,501	61,4151
	2	577,476	10,7757	577,484	10,758
	3	494,852	28,5145	494,858	28,4755
	4	435,474	57,4964	435,537	57,4678
Re grave i	1	492,318	56,5882	492,316	56,5867
	2	562,201	87,7868	562,188	87,7835
	3	491,136	27,4302	491,142	27,3838
	4	640,983	40,5775	640,977	40,5979
Re grave o	1	607,111	58,3942	607,123	58,4186
	2	632,583	78,9749	632,625	78,9719
	3	530,296	20,0741	530,257	20,0929
	4	460,245	53,6615	460,252	53,661
Re grave u	1	409,875	22,2901	409,887	22,3311
	2	416,008	65,0818	416,047	65,0917
	3	421,903	8,4003	421,963	8,37478
	4	416,975	45,4575	417,027	45,4562
Re médio a	1	924,033	78,7912	924,033	78,7912
	2	806,927	88,4615	806,927	88,4615
	3	860,639	94,8526	860,639	94,8526
	4	966,162	107,523	966,162	107,523
Re médio e	1	702,169	33,5796	702,169	33,5796
	2	820,966	20,7873	820,966	20,7873
	3	782,831	24,2365	782,831	24,2365
	4	697,125	36,9401	697,125	36,9401
Re médio i	1	721,631	33,0318	721,631	33,0318
	2	661,207	75,6632	661,207	75,6632
	3	820,447	23,9051	820,447	23,9051
	4	922,66	34,1274	922,66	34,1274
Re médio o	1	1094,64	35,6567	1094,64	35,6567
	2	912,199	144,93	912,199	144,93
	3	693,426	79,4697	693,426	79,4697
	4	618,245	93,9532	618,245	93,9532
Re médio u	1	920,451	45,032	920,451	45,032
	2	733,956	16,898	733,956	16,898
	3	732,093	31,4462	732,093	31,4462
	4	634,813	69,6744	634,813	69,6744
Re agudo a	1	1400,79	96,8225	1400,79	96,8225
	2	1283,82	17,8355	1283,82	17,8355
	3	1246,06	5,28764	1246,06	5,28764
	4	1285,64	140,537	1285,64	140,537
Re agudo e	1	1368,74	152,391	1368,74	152,391
	2	1193,81	129,483	1193,81	129,483
	3	1226,25	15,37	1226,25	15,37
	4	1236,07	134,592	1236,07	134,592
Re agudo i	1	1307,39	201,359	1307,39	201,359
	2	1312,28	142,854	1312,28	142,854
	3	1337,17	23,3117	1337,17	23,3117
	4	1337,82	19,5104	1337,82	19,5104

Re agudo o	1	1245,87	5,06788	1245,87	5,06788
	2	1245,92	5,08093	1245,92	5,08093
	3	1246,93	5,1396	1246,93	5,1396
	4	1247,84	6,0657	1247,84	6,0657
Re agudo u	1	1279,92	25,9724	1279,92	25,9724
	2	1275,97	25,3573	1275,97	25,3573
	3	1277,51	25,3485	1277,51	25,3485
	4	1286,14	143,061	1286,14	143,061

4. Gráficos comparativos



Anexo II

Entrevistas

1. Formulário da entrevista:

1. Há quanto tempo estuda flauta e quantas horas estuda por dia?
2. Entende que alterações de timbre são um componente da performance?
3. Como entende que essas alterações de timbre são realizadas pelo flautista?
4. O trato vocal é relevante na construção do som da flauta:
 - a) para a afinação?
 - b) para a cor da nota?
5. Você utiliza alterações no trato vocal para tocar flauta?
6. Você utiliza alguma configuração para algum propósito específico?

2. Respostas:

Flautista A: Sávio Araújo – professor na Universidade Estadual de Campinas e flautista na Orquestra do Estado de São Paulo.

1. Estuda há 42 anos e, em média, entre três e três horas e meia por dia.
2. Alterações de timbre/cor são componentes da performance. Os timbres são construídos de forma distinta para o repertório solo e para o repertório de conjunto. No repertório solo, é necessário um timbre com mais brilho, projeção, presença, destaque. No repertório de conjunto, o timbre atua como um fator de fusão de som e afinação. Nos conjuntos, a afinação se resolve pelo timbre. O grupo constrói um timbre em conjunto, que funciona em blocos de som, sem arestas. Esse timbre também deve mudar de acordo com o repertório executado.
3. As alterações de timbre são realizadas com o controle da velocidade da coluna de ar e controle da pressão do jato de ar. Com a emissão do ar, controlamos na

garganta. Aprendemos com os cantores a utilizar a ressonância da cabeça e do tórax e a saber onde colocar o ar.

4. O trato vocal é relevante nas alterações de cor da nota, como já expliquei. Também é importante na correção da afinação, pois compensa algum desvio, especialmente em grupo, e na mudança de pressão.

5. Uso o trato vocal sempre combinado com variações de velocidade do jato de ar. Penso na posição do ar dentro do tubo do trato vocal, como se eu soprasse em determinadas partes do trato. Ao fazer isso, pode haver alteração na afinação.

Por exemplo, para um som mais aveludado, penso no ar mais embaixo no trato vocal. Tem que haver um equilíbrio de fatores, mas a afinação é um parâmetro fixo. O timbre varia de acordo com a expressividade artística. Mesma coisa para a dinâmica. Tocar uma nota mais forte ou mais fraco já muda a afinação.

6. Existe uma configuração específica para soar de um certo jeito. Aprendi isso no estudo da flauta.

Por exemplo, para soar mais “redondo”, deve-se abrir mais o lábio, soprar mais ar, com jato mais lento. O ângulo que o ar atinge o bocal está relacionado com a maneira que o flautista segura a flauta.

É desejável ter uma gama de sons, usando, por exemplo, soprar mais embaixo. Há determinados fonemas para construir alguns sons, mas o “ô” é um curinga para melhorar o som.

Penso no som como uma sensação de densidade, de profundidade. A flauta não tem muita variação de dinâmica, então só a dinâmica não é suficiente para fazer os contrastes. Já as alterações de timbre são infundáveis, é preciso usar a densidade do som. Por exemplo, “ô” e “u” são configurações parecidas. Para a região mais grave, uso o “u”, para a região mais aguda, o “ô” é melhor, pois engorda o som. Quando uso o “ô”, penso no ar mais embaixo. Para aumentar o brilho, uso o “i”. A língua acompanha esses movimentos. Acredito que o canto é um elemento essencial do aprendizado da flauta.

Flautista B: Maurício Freire – professor na Universidade Federal de Minas Gerais e flautista principal convidado na OSESP.

1. Estuda flauta há 30 anos e, em média, 2 horas por dia.
2. Acredita, enfaticamente, que as alterações de timbre são componentes essenciais da performance.
3. Para essas alterações de timbre, usa o trato vocal, o ângulo de incidência do jato de ar no instrumento, a cavidade nasal, a geometria do orifício da boca, vibrato e essas técnicas combinadas.
4. O trato vocal é importante para a afinação, mudar a vogal ajuda a afinar especificamente, de acordo com a velocidade do ar. O trato, nesse caso, funciona como uma câmara de amortecimento do jato de ar. Mas é mais importante para as mudanças de cor.
5. Usa as alterações do trato vocal para tocar, mas pensa nisso mais como um senso de expressividade que algo racionalmente construído.
6. Algumas configurações específicas são, por exemplo, “u”, para retirar harmônicos mais agudos, “i”, para que o som fique mais estridente, com mais harmônicos agudos. Algumas consoantes também ajudam, como, por exemplo, pensar em “mó”, em lugar de “mi” na terceira oitava.

A língua fica, em geral, relaxada no chão da boca. Mexe até a posição mediana de “a”. É ruim usar posições como as de “x” ou de “s”.

É preciso experimentar possibilidades de timbre. A necessidade expressiva é superior à racionalidade da configuração de uma vogal ou outra. A dinâmica e a agógica também são importantes. A vogal “u” facilita a projeção e tira harmônicos agudos. A vogal “ô” facilita a abertura da cavidade, relaxa a embocadura, o som fica mais redondo.

A nasalização altera o som sem mexer a boca.

A articulação também pode ser trabalhada com vogais, pois muda a posição, a velocidade da língua. Por exemplo, na região mais grave, a articulação é melhor

com o “u”, na região média, “a”, e na região aguda, “i”. O “ö” tem um som interessante também.

Flautista C: Raul Costa d’Avila - flautista e professor Universidade Federal de Pelotas

1. Iniciei meus estudos em 1973, com meu pai. Procuo, em média, estudar 3 horas por dia. Quando posso, estudo mais.

2. Sim, com certeza. Tive experiências desta natureza através de um trabalho incrível realizado em sala de aula com o Prof. Expedito Vianna, quando fui aluno dele na UFMG. Ele trabalhava o processo de produção do som na flauta, combinando com a utilização das vogais, prática que ele desenvolveu no seu estudo de sonoridade na flauta a partir de sua experiência como cantor. A utilização das vogais no processo de tocar possibilitava diferentes formatos da nossa cavidade oral, resultando sons, timbres diferentes. No processo de emissão, de busca do som, ele sempre fazia combinações, ora soprando pelo nariz e boca, ora só pela boca, ora através de uma vogal mais fechada, ora mais aberta, às vezes misturando vogais e soprando pela boca e nariz, ora só pela boca, enfim, um laboratório vivo, intenso, que me deixava maravilhado. Expedito também dava atenção à modificação dos lábios, ora apertando-os mais, ora menos, e também à glote, ora mais apertada, ora menos. Além disso, ele cantava uma determinada nota e depois pedia que eu assobiasse uma nota específica, sugerida por ele, para que esta, fundindo com a nota cantada por ele, produzisse uma resultante, um som harmônico. Isto era fantástico, um laboratório empírico, guiado pela sua intuição, talento, sabedoria de grande mestre. Como eu disse, uma experiência incrível. Me lembro ainda que além de procurar/tentar colocar as lições de Expedito em prática na própria sala de aula, também procurava aplicá-las nas aulas de Música de Câmara da Profa. Magdala Costa, onde tínhamos um Trio (Piano, Violoncelo e Flauta) e era muito estimulante pensarmos no timbre com meio de expressão ao nosso propósito, afinal era outro laboratório. Hoje, após vários anos, vejo que este componente pode ter colaborado muito no processo do trio porque, de certa maneira, nos instigou, guiados pelas orientações de Magdala e o espírito de pesquisa do Expedito, a buscar uma identidade sonora, responsável, talvez, pelo primeiro lugar que obtivemos em um Concurso de Música de Câmara realizado pela Escola de Música naquela ocasião.

3. Há muita coisa envolvida quando se deseja tocar um instrumento, sobretudo quando se deseja tocar bem, realizando o processo de uma maneira racional, consciente e inteligente. Ainda que possa ser polêmico para linhas de pensamento que não acreditam que nossos ressonadores possam interferir para alterar a intensidade e a presença dos harmônicos no som da flauta e obter possibilidades interpretativas através da mudança de timbres, no processo que desenvolvo entendo que: é fundamental, além de pensar nas vogais, como meio para dar formato à cavidade bucal, dar atenção aos lábios, procurar ter um controle sobre a abertura da garganta e, sobretudo, fazer combinações da maneira de soprar, como mencionei na questão nº2. Além disso, é preciso ainda levar em conta o ângulo do bocal em relação à linha do lábio inferior (que pode variar, sendo mais ou menos inclinado) e também da maneira de posicionar o lábio em relação ao orifício da embocadura, que, dependendo da orientação/concepção, pode ser mais ou menos coberto. Enfim, são muitos parâmetros que podem ser combinados, jogados, para processar alterações de timbre; é importante ter curiosidade para explorá-los, ficar muito atento às possibilidades/sutilezas de mudança de cores, de timbres que podem ser obtidos e saber utilizá-los nos diferentes contextos musicais.

Saliento que para explorar o timbre — ou qualquer outro meio para se obter expressão no instrumento — é fundamental ter um domínio corporal e, naturalmente, técnico, muito grande. Como diz Pierre-Yves Artaud, através de seu tratado sobre pedagogia, “a flauta é um instrumento amorfo que apenas amplifica os sinais que lhe são transmitidos. Não se trabalha a flauta e sim o corpo daquele que a toca, a fim de controlar e de coordenar os reflexos nervosos e os impulsos musculares que permitirão a flauta soar corretamente”. Ele salienta: isto significa um trabalho racional, consciente e inteligente.

4. Sim, o trato vocal é importante para a afinação. Levando-se em conta que é através do trato vocal que o ar é conduzido até atingir o orifício do bocal, e que a afinação está diretamente relacionada à velocidade do ar que atinge o orifício, ou seja, quanto mais rápido soprarmos, mais alta será a afinação e vice-versa, é preciso, além de estar muito atento auditivamente para perceber se é preciso subir ou baixar a afinação, estar com o corpo bem treinado para, como diz Artaud, “controlar e coordenar os reflexos nervosos e os impulsos musculares que permitirão a flauta soar corretamente”. Controlar este processo para obter afinação é uma

espécie de jogo, exigindo — além da citada competência auditiva — uma presteza na equalização das proporções da cavidade bucal, no controle da abertura da garganta, na posição da língua, no posicionamento do ângulo da flauta em relação aos lábios, enfim, um controle técnico, artístico, dos meios por onde o ar circula para que possa ser controlada a pressão, compensando-se a velocidade do ar e, conseqüentemente, ajustando a afinação.

Sim, o trato vocal é importante para a cor ou timbre. 5. Sim ! Para mim seria impossível não utilizar.

6. Sim! Penso basicamente nos dois propósitos mencionados por você: timbre e afinação. Uma configuração que eu gosto muito para explorar o timbre, sobretudo na região aguda, é formatar a boca através da vogal “U”. Ela me possibilita uma boa abertura da garganta e também uma ampliação da cavidade bucal, proporcionando uma sonoridade menos agressiva, ou, em outras palavras, mais “aveludada”, “arredondada”.

Quanto à afinação, como eu disse anteriormente, controlar o processo para obter afinação é uma espécie de jogo, exigindo — além de competência auditiva — uma presteza na equalização das proporções da cavidade bucal, no controle da abertura da garganta, na posição da língua, no posicionamento do ângulo da flauta em relação aos lábios, enfim, um controle técnico, artístico, dos meios por onde o ar circula para que possa ser controlada a pressão, compensando-se a velocidade do ar e, conseqüentemente, ajustando a afinação. Enfim, é um grande jogo, exigindo do flautista constantes reflexos; comparando, talvez seja como andar sobre uma corda: ora você vai para um lado, ora para outro, ora para um lado, ora para outro, e assim você se equilibrando. O importante é você estar flexível para conseguir caminhar sobre o referencial, caso contrário...

Flautista D: Sérgio Barrenechea – professor da Universidade Federal do Estado do Rio (UNIRIO) de Janeiro e flautista nos grupos Duo Barrenechea e Quinteto Brasília

1. Parei de contar! Estudo desde os 13 ou 14 anos, ou seja, 35 anos. De maneiras diferentes. Hoje nem estudo todos os dias, estudo de acordo com o que preciso fazer, se tenho um concerto ou alguma coisa para preparar. Quando estudo, é um estudo picado, pois tenho que conciliar com o trabalho na Universidade. Como se

fosse uma preparação física, não consigo manter um estudo todos os dias. Mas já estudei muito, quando era aluno. Nessa época, todo o meu tempo livre era para tocar. Recomendo que as pessoas estudem, especialmente no período de formação. Isso que diferencia o profissional do amador.

2. Eu me considero um grande amante das mudanças de timbre, tento incorporar na maneira que toco e sempre me interessei muito por isso. A flauta pede muito isso. O direcionamento no ensino oficial é esse, toda a escola francesa da sonoridade. A minha abordagem quanto a timbre ultrapassa o tradicional. O flautista tem trauma com ruído, mas o ruído é importante, é um componente que o flautista sempre tenta evitar e deixa de trabalhar. É um campo na flauta em que um certo momento vai fazer falta. É um componente importante que eu tento usar.

3. Meu entendimento é um pouco teórico, li Fletcher, li Roger Mather, sempre tentei aplicar, entender um pouco como cada flautista toca. Tem um componente pessoal, como a pessoa se relaciona com a flauta. Isso é ligado à formação dele, quem são os modelos e o repertório que ele toca. Também a maneira com que ele se relaciona com o timbre. No meu caso, acho que o timbre pode ser alterado com várias coisas, com pressão de ar, embocadura, pressão, as vogais. Eu li a sua dissertação de mestrado. Não tem um caminho só. Cada flautista usa uma combinação de coisas que reflete tudo o que ele é, a língua que ele fala, a parte fisiológica etc. Às vezes o mesmo procedimento não funciona para todo mundo. O professor tem que estar atento a essas coisas. Sou muito mais flexível do que eu era, você tem que adaptar as coisas. Existem elementos acústicos, regras que a gente tem que conhecer conscientemente ou não, o cara pode ter uma intuição boa e resolver seus problemas assim.

4. Claro!! Como que se vai tocar flauta sem o ar passar no trato? O que eu acho mais interessante, no caso da homogeneidade, aquela coisa de Taffanel, de escola francesa. O Gaubert herdou a cadeira do Taffanel e manteve o legado de pioneirismo da flauta moderna, da busca de uma estética, de um repertório. O que o Moog fez para os sintetizados, o taffanel fez para a flauta moderna. O que mais mudou foi o fraseado. Em virtude disso, a técnica mudou, o vibrato mudou, os instrumentos mudaram. As tendências estéticas mudam muito.

Na questão da homogeneidade, o instrumento naturalmente tem um grave que eu chamo de “fofo”, não tem consistência sonora. O médio é bacana e o agudo é estridente. É preciso compensar as pontas. Colocar brilho no grave e tirar do agudo. Para isso eu vou alterar o timbre. Os parâmetros nunca vão ser alterados sozinhos. Para mudar o timbre, eu preciso mudar a afinação, você tem que compensar com um outro ajuste. A gente atua como um malabarista, muda uma coisa, altera outra. Os ajustes necessários para que se consiga atingir um objetivo são vários. Vou usar as vogais, a embocadura, a direção. Uso uma vogal que tenha mais brilho no grave, que a língua suba, como no **i**, **ê**. Nunca vou tocar com uma vogal aberta, só se for harmonia, nota longa. Como solista, quero que o grave projete, então tenho que dar brilho. No médio, não preciso fazer muita coisa. No agudo, uso algo que tire o brilho, como **ô**, até mesmo **u**. Preciso usar outro ajuste que vai compensar um pouco. Considero o uso das vogais como um complemento, não como o centro do negócio. A ressonância é algo extra. Para cada nota é diferente. No nosso instrumento, não há um comportamento linear, mas maluco. Cada nota é diferente, os furos não são iguais etc. Diferente do piano, que tem um tamanho de corda, de martelo. O ajuste que o fabricante fez no piano, o flautista tem que fazer para cada nota.

5. Claro! Uso as vogais da forma como eu descrevi. Você trabalha tanto, que você nem pensa em vogal, pensa mais em movimento. Trabalho queixo, bochechas, área nasal, ombros, como Julius Baker. Incorporo tudo o que fui vivendo e aprendendo com as pessoas. Muitas coisas de ressonância são além da boca, na caixa torácica, cabeça. A vogal é muito didática para se trabalhar com o aluno. Você tem uma maneira básica de tocar que posso alterar de acordo com o que eu quero. Essa maneira básica é a homogeneidade. Mantenho os 3 registros mais ou menos parecidos.

O **ë** é uma vogal bacana que tem os dois mundos, reforça a fundamental e dá brilho em cima. É uma vogal boa para se trabalhar. Como não temos isso no português, o iniciante demora para fazer isso.

6. A garganta é algo com o que não me preocupo muito. Se tiver muito fechada é ruim, mas cheguei à conclusão de que ela vai no bolo, vai fazer alguma coisa quando você faz outro ajuste. Por muito tempo eu tive um preconceito com garganta fechada. Só se for por muito tempo que isso vai realmente prejudicar. Mas você tem

que ter o controle disso. Tocar do jeito que você quer, quando você quer. Com mais espaço dentro da boca é mais fácil articular. Uma coisa interessante que o Keith Underwood me falou é que os latinos articulam muito na frente. Isso facilita notas agudas. Essas coisas são culturais também, com a língua que a pessoa fala. Isso torna tudo diferente. E influencia a maneira de tocar.

Quando cheguei a Boston, toquei para o Smith, toquei uma das variações do Schubert e ele me disse que flautista brasileiro tem uma maneira de tocar específica. A gente está influenciado por uma cultura, discos do Chico Buarque, Milton Nascimento, Hermeto Paschoal, James Galway. A gente tem influências que compartilha. Até os professores. As influências das pessoas, como a Odette, que foi minha professora, a gente sempre leva. A gente sempre vai guardar coisas que assimilou e nem se lembra de onde veio. A maneira com que a gente se relaciona com a flauta é um mundo a parte e há muitas variáveis que, juntas, vão produzir coisas diferentes. Como cada pessoa lida com isso tem a ver com a personalidade, fisiologia, influências, estéticas, tudo. As músicas que a pessoa toca, a sua proposta estética, tudo o que estudei e deixei de estudar. O que é bom da proposta estética é você convencer as pessoas daquilo que você está ouvindo. Mesmo um leigo, quando presta atenção, eu penso que cumpri a minha missão. Sempre que a gente ouve um som de flauta, já fica analisando. Eu sempre aprendi com todo mundo, até com o aluno que chega ao primeiro dia de aula, ele sempre vai fazer alguma coisa que eu nunca fiz. E o super profissional também vai fazer algo que eu ainda não descobri.

Toco diferente todos os dias, pois estamos mudando. Isso é um reflexo da vida, a gente acha que sabe coisas e elas são fixas, mas sempre vai mudar tudo. No mundo flautístico isso é dinâmico. Sempre estou aprendendo, me considero um eterno aprendiz e tento passar um pouco dessa atitude para os meus alunos. O que é a verdade eu não sei e também não quero saber. Isso é que é bacana. O timbre é muito isso. Nunca vou conseguir fazer a mesma coisa duas vezes. Eu não controlo tudo, pois há um acaso da vida nessa jogada. Perceber isso é ter um direcionamento. O foco é onde eu vou chegar, não importa como.

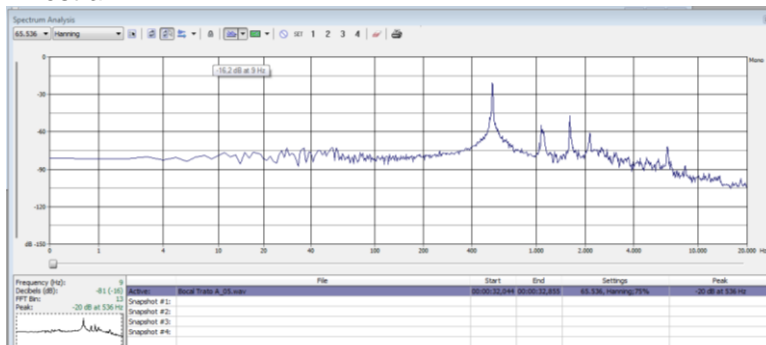
Anexo III

Gráficos das amostras finais

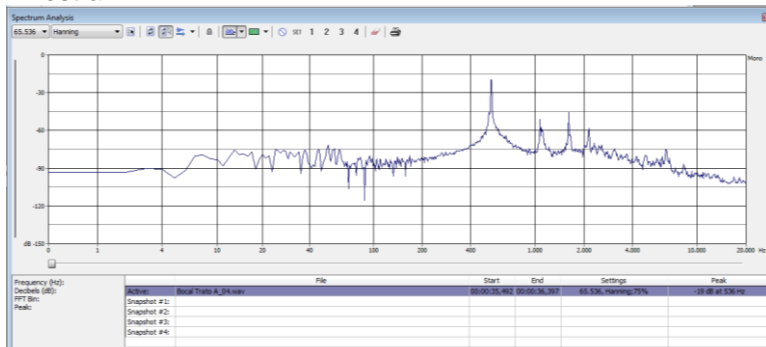
Pulmão 5 litros

Vogal A - Microfone 1 (próximo ao bocal)

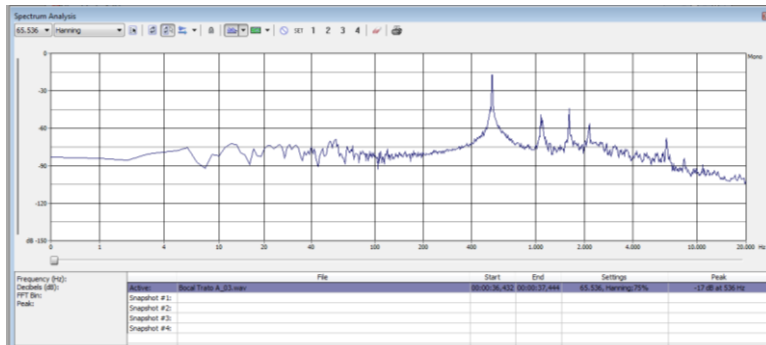
Amostra 1



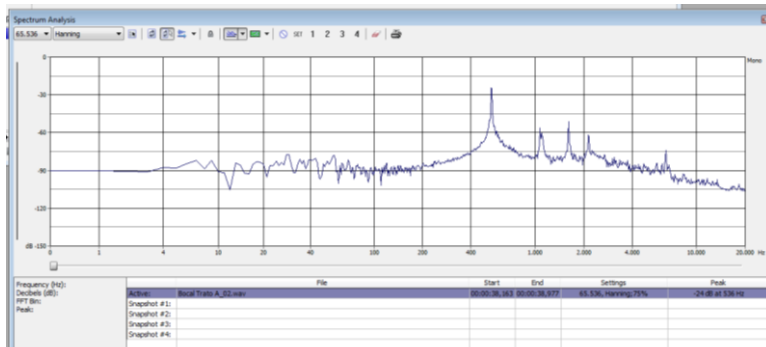
Amostra 2



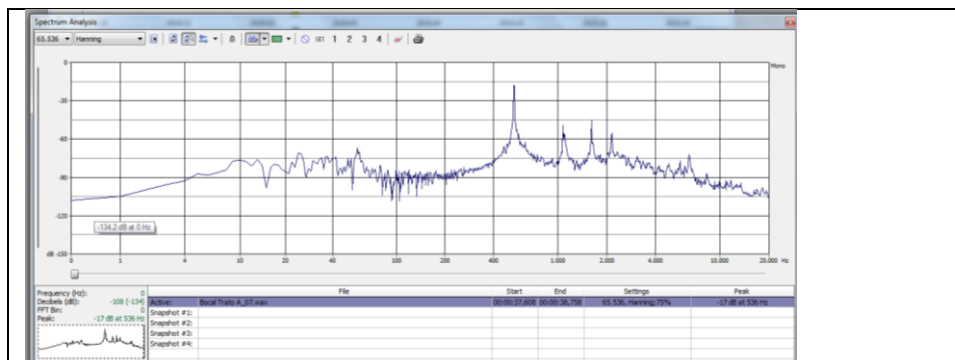
Amostra 3



Amostra 4

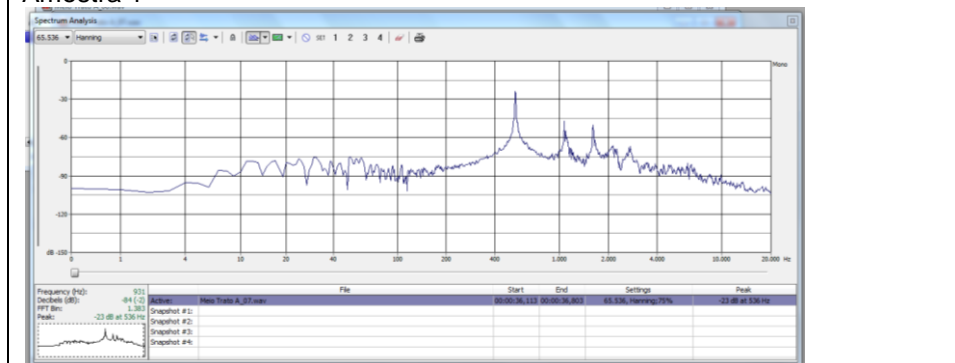


Amostra 5

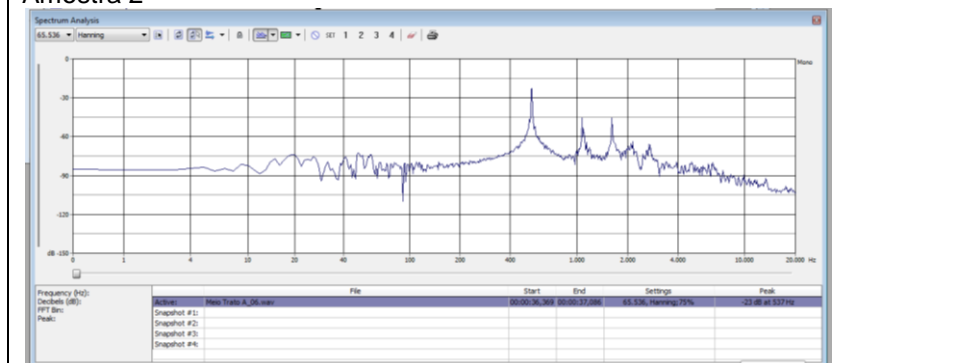


Vogal A - Microfone 2 (meio da flauta)

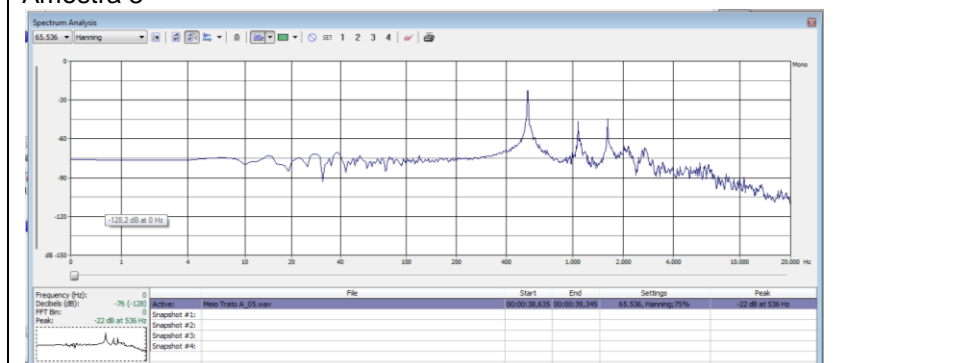
Amostra 1



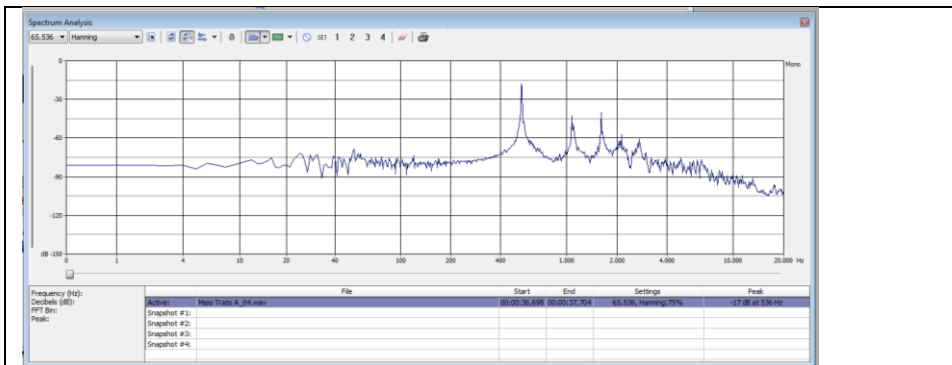
Amostra 2



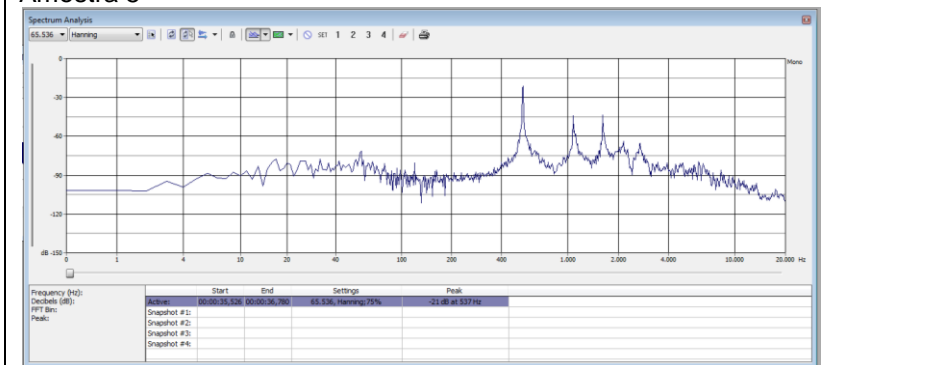
Amostra 3



Amostra 4

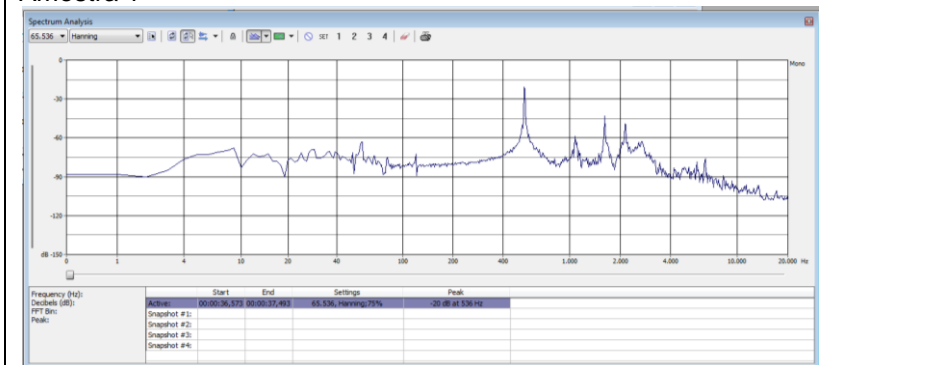


Amostra 5

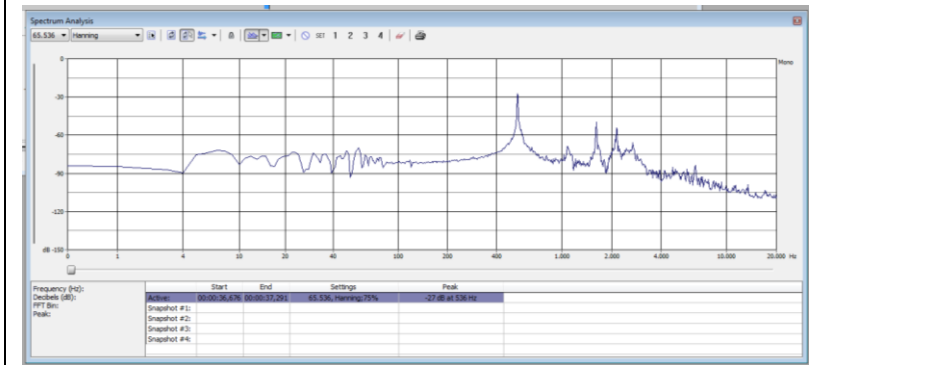


Vogal A – Microfone 3

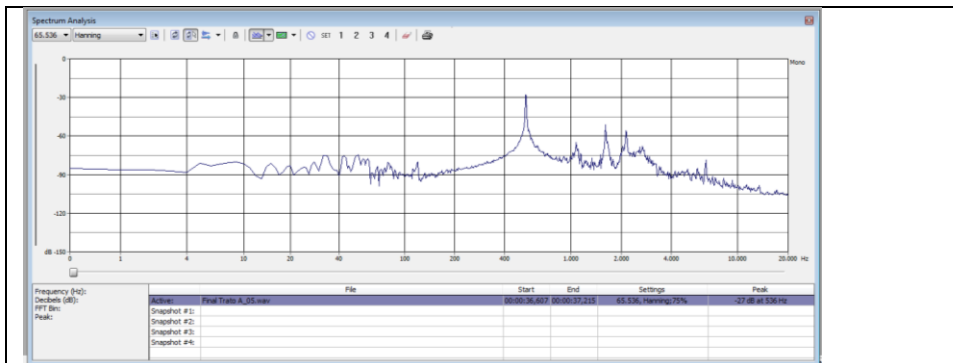
Amostra 1



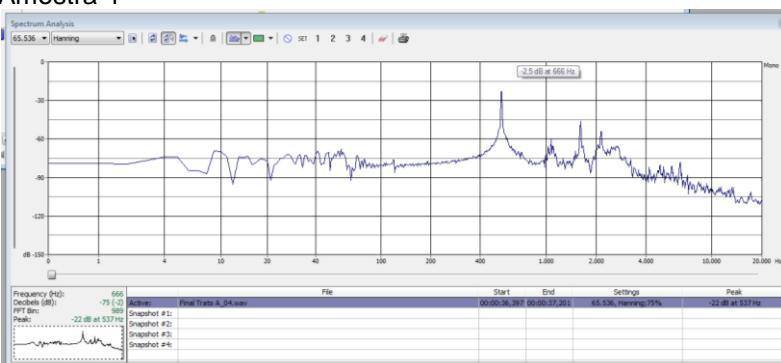
Amostra 2



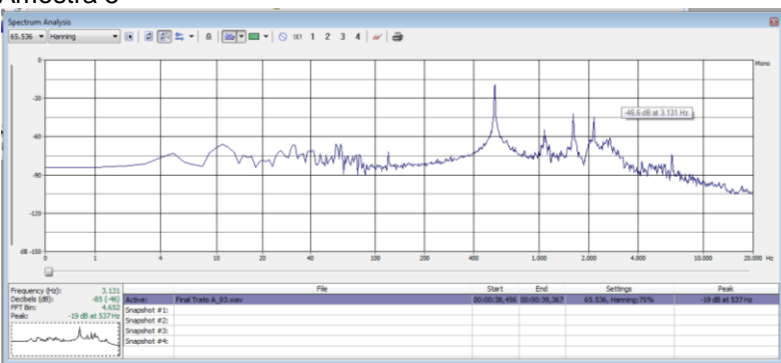
Amostra 3



Amostra 4

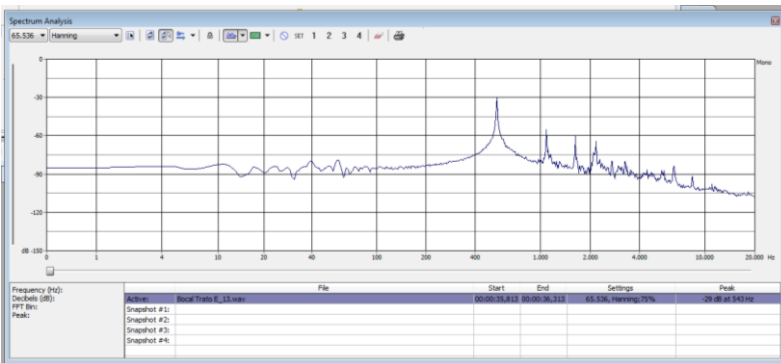


Amostra 5

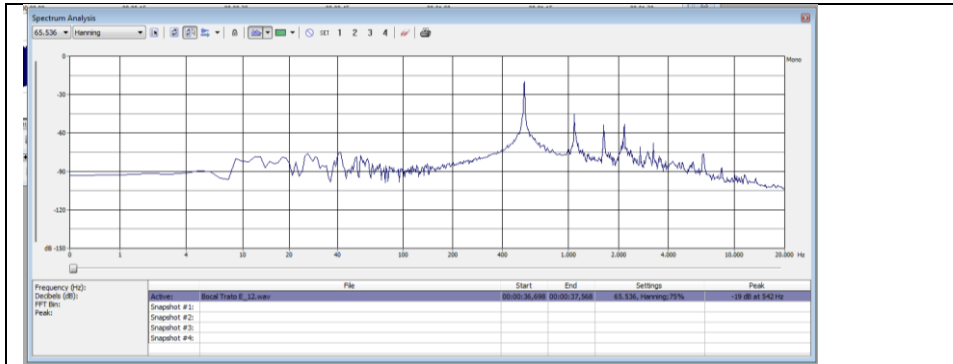


Vogal E – Microfone 1

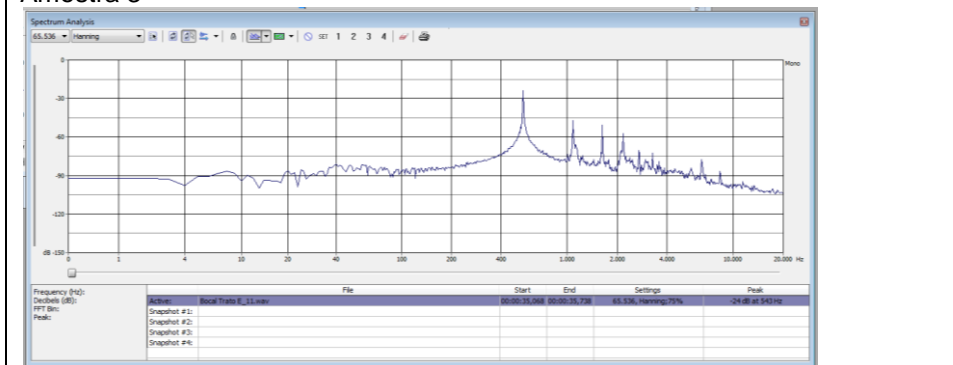
Amostra 1



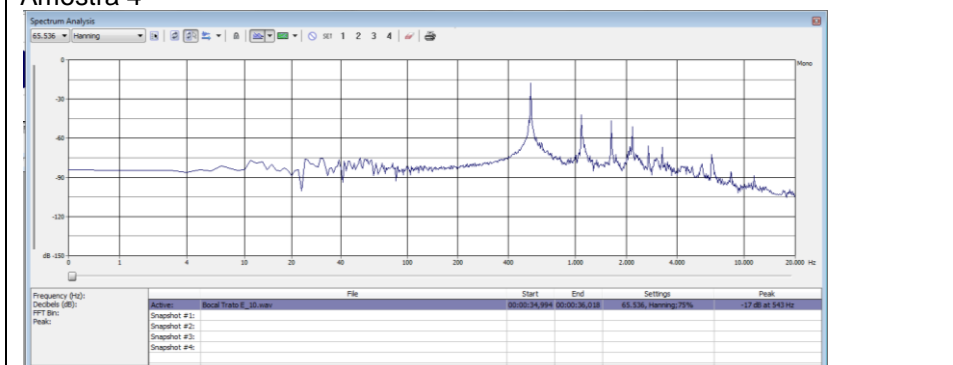
Amostra 2



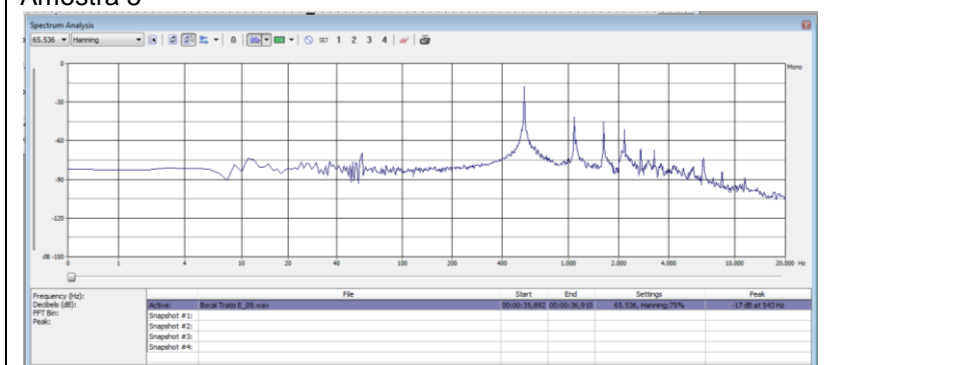
Amostra 3



Amostra 4

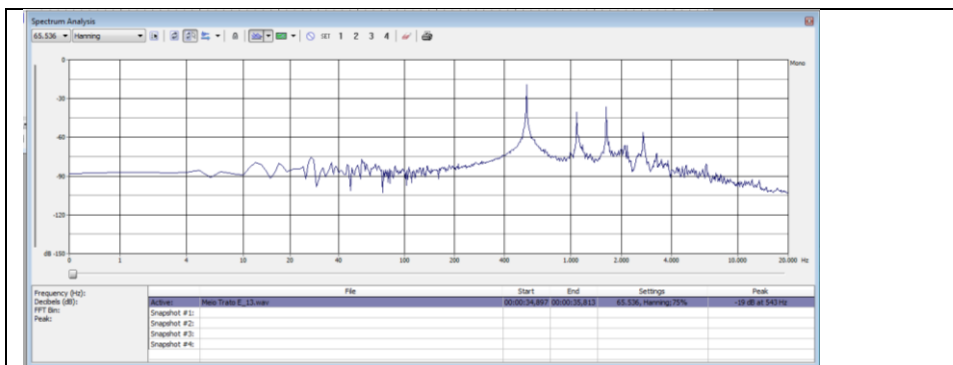


Amostra 5

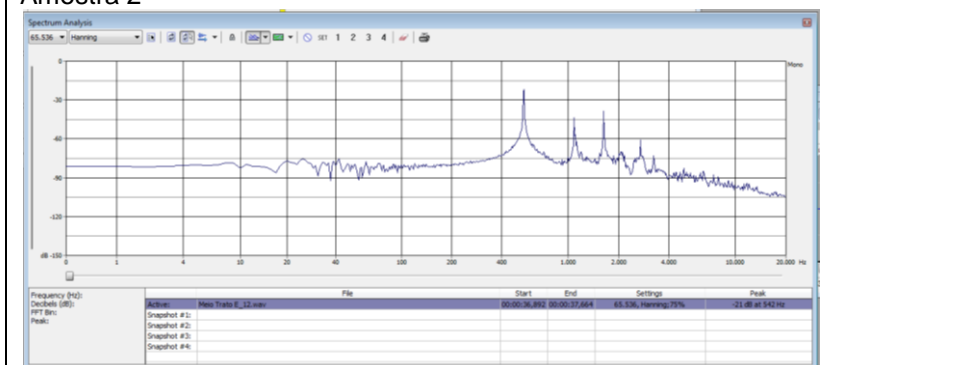


Vogal E – Microfone 2

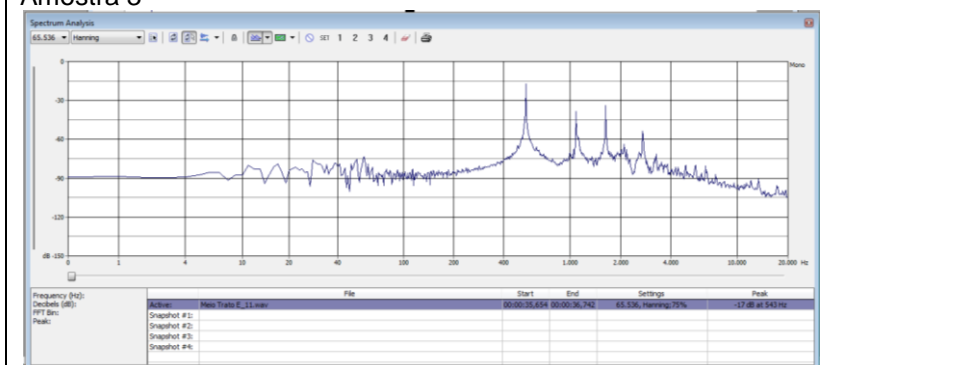
Amostra 1



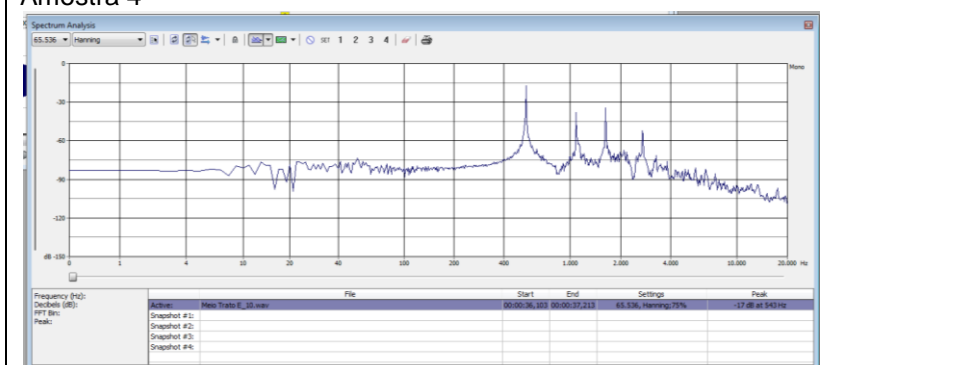
Amostra 2



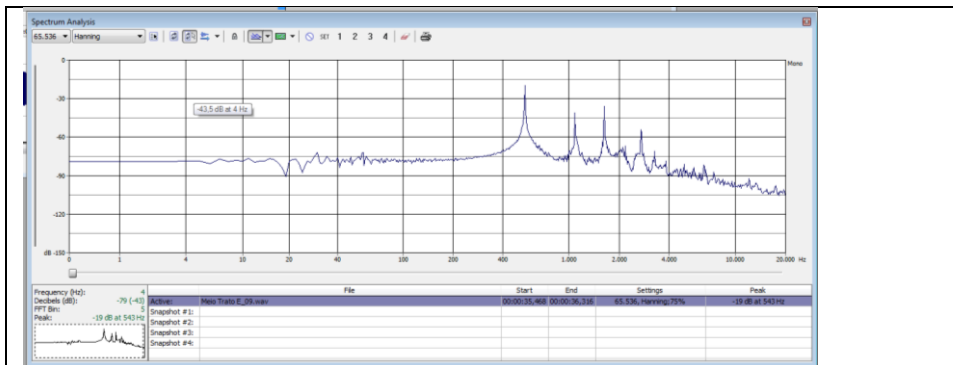
Amostra 3



Amostra 4

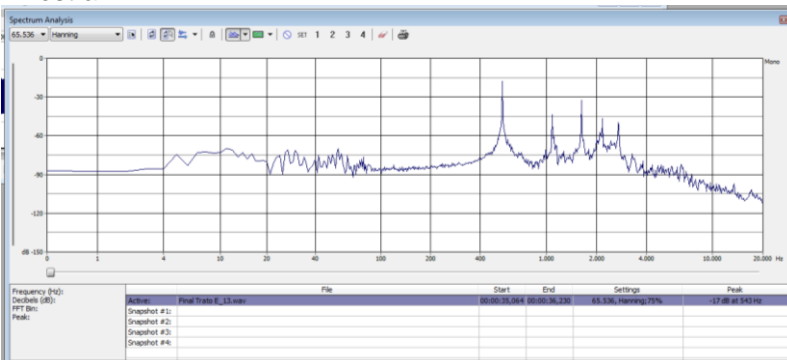


Amostra 5

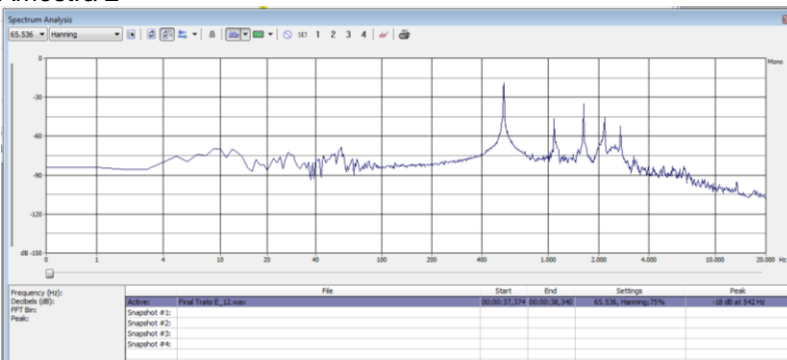


Vogal E –Microfone 3

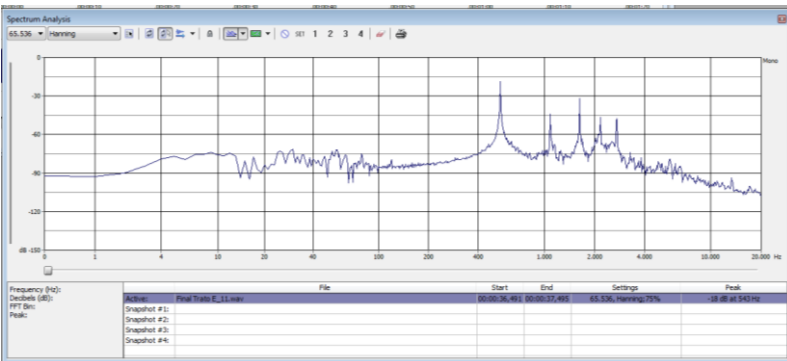
Amostra 1



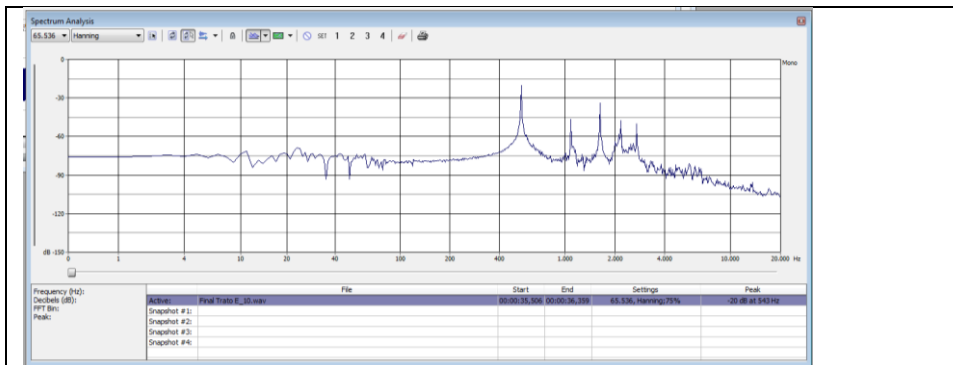
Amostra 2



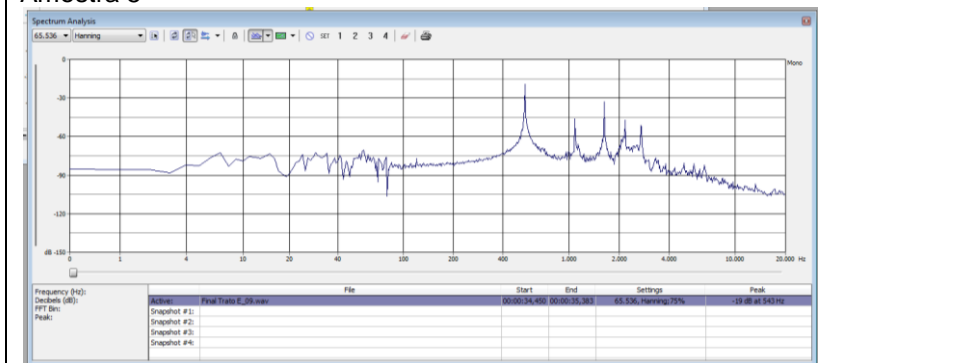
Amostra 3



Amostra 4

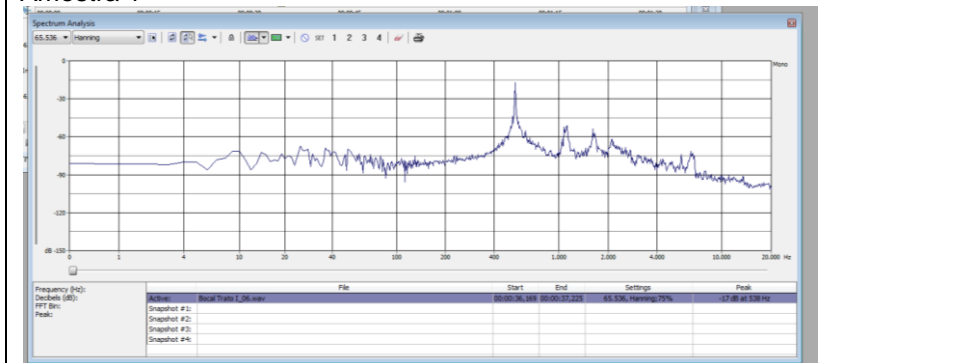


Amostra 5

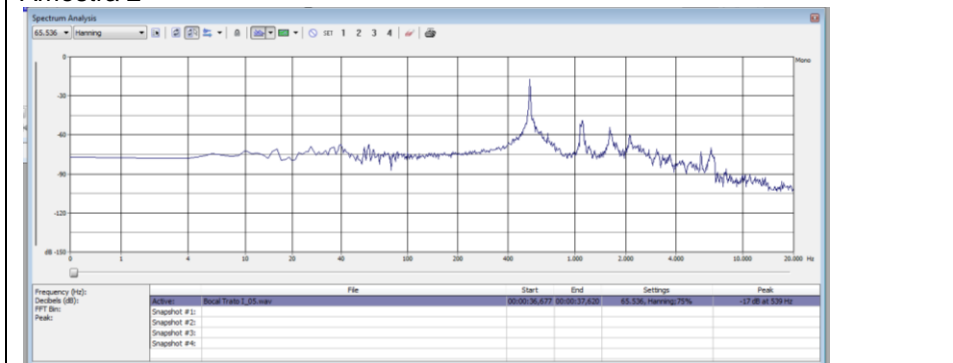


Vogal i – microfone 1

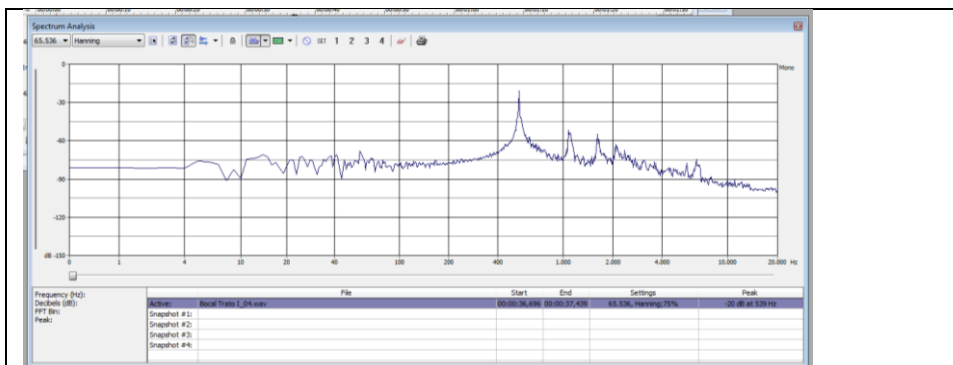
Amostra 1



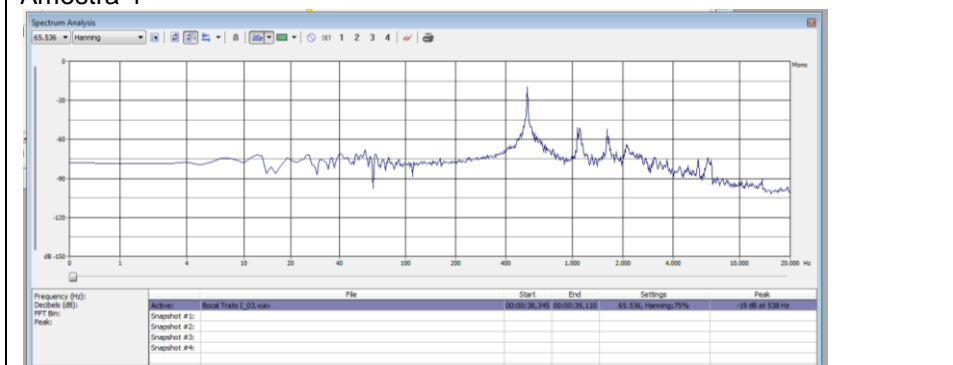
Amostra 2



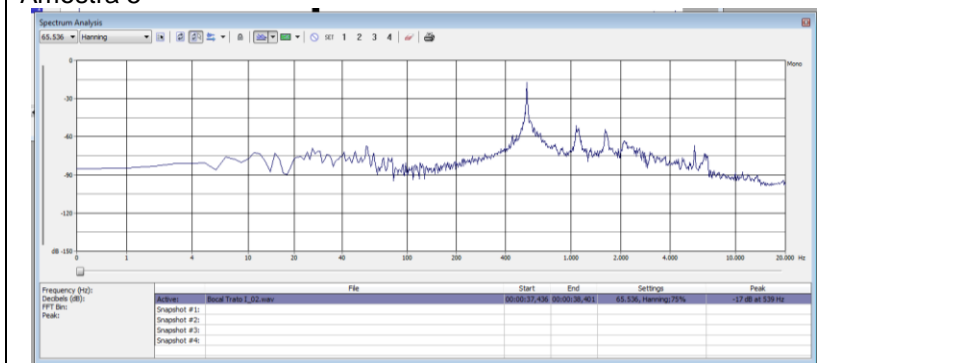
Amostra 3



Amostra 4

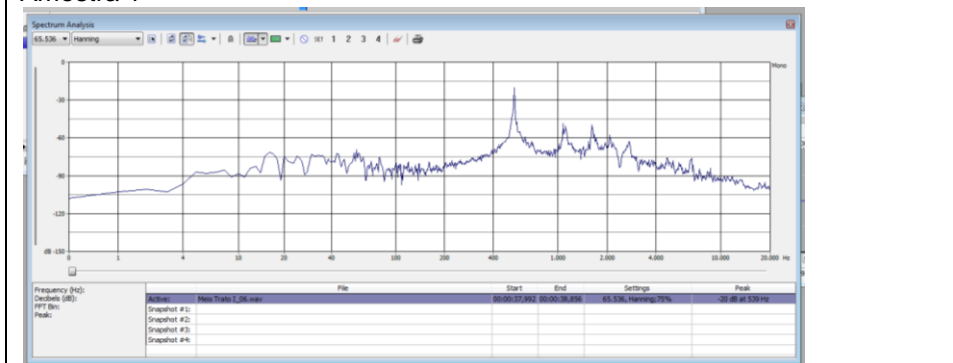


Amostra 5

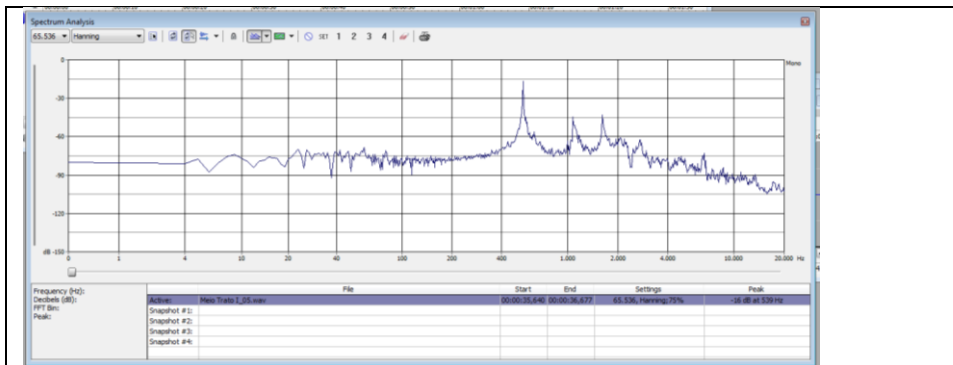


Vogal i – microfone 2

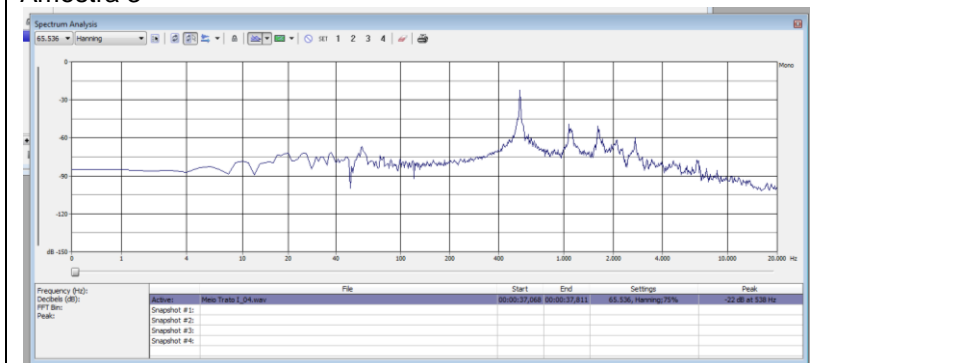
Amostra 1



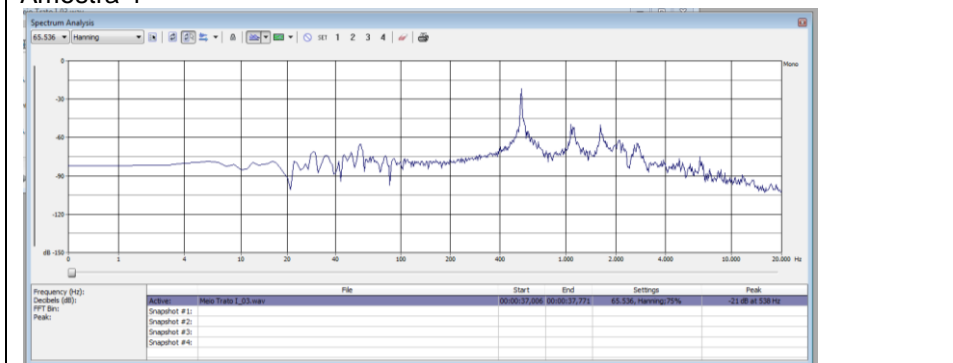
Amostra 2



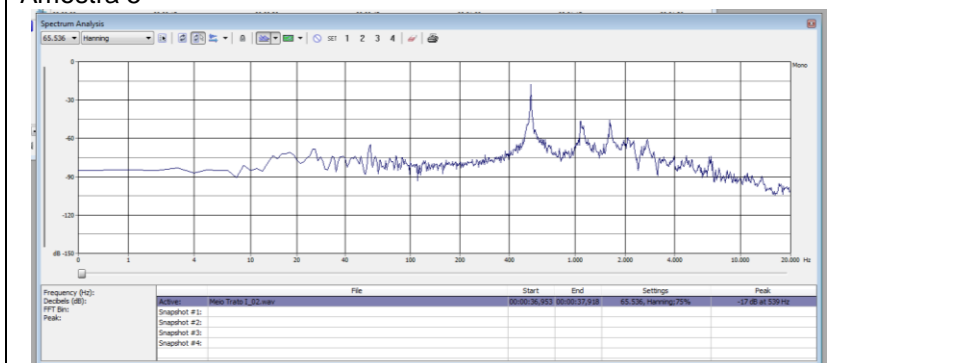
Amostra 3



Amostra 4

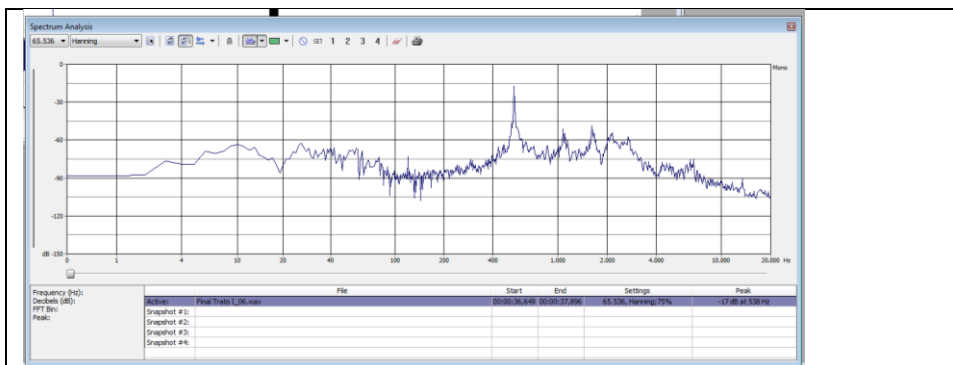


Amostra 5

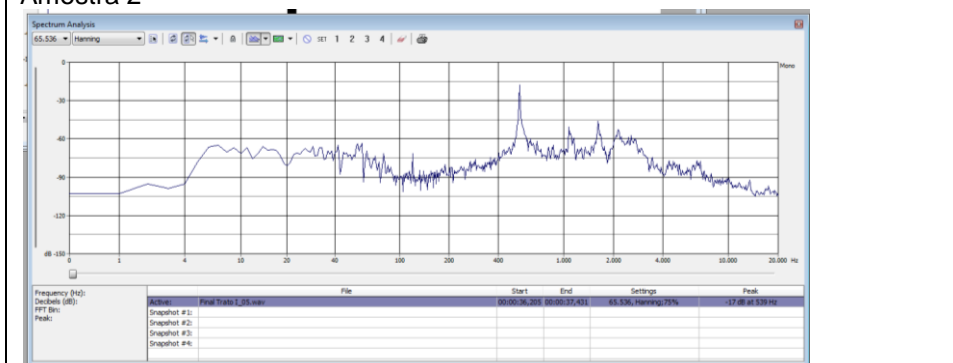


Vogal i – microfone 3

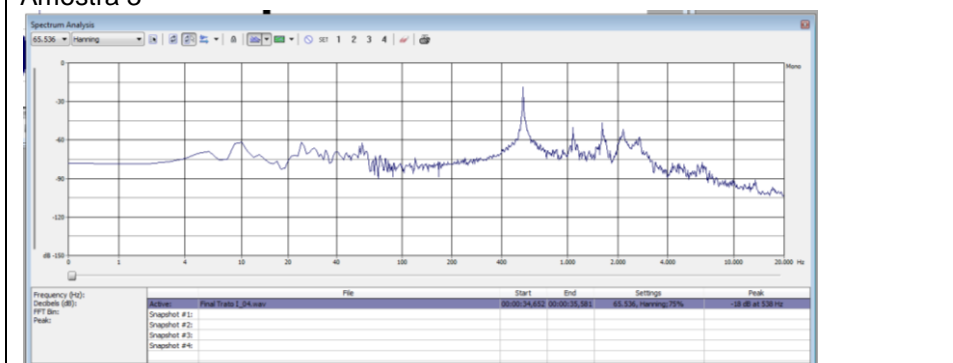
Amostra 1



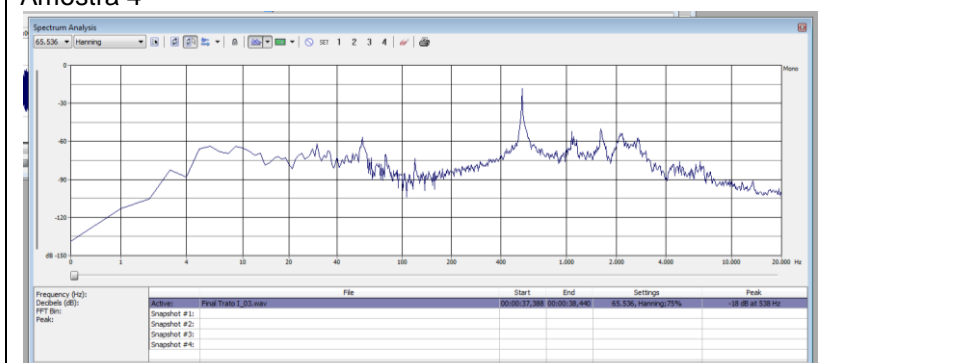
Amostra 2



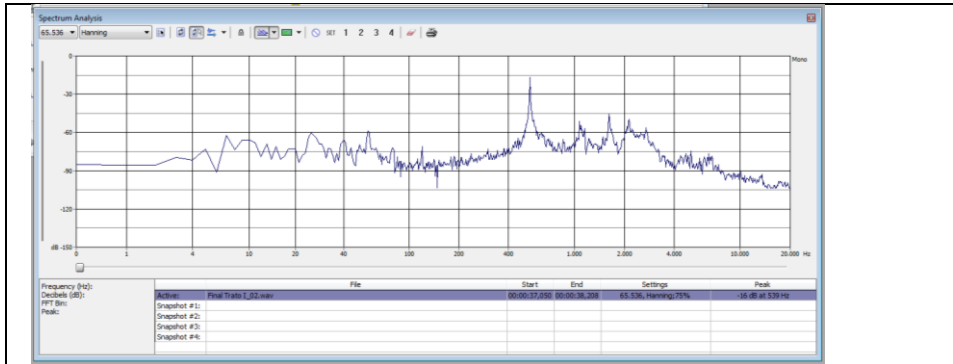
Amostra 3



Amostra 4

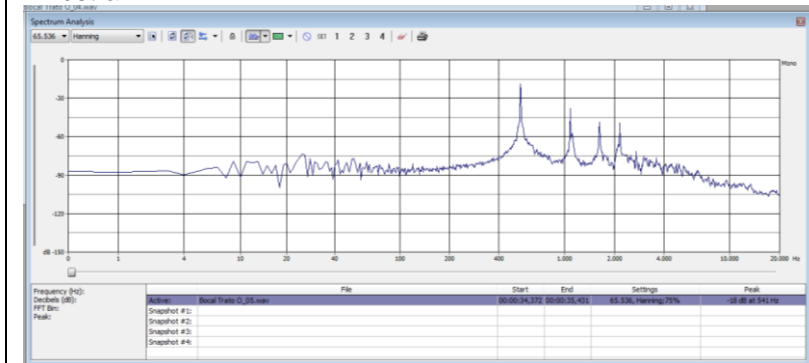


Amostra 5

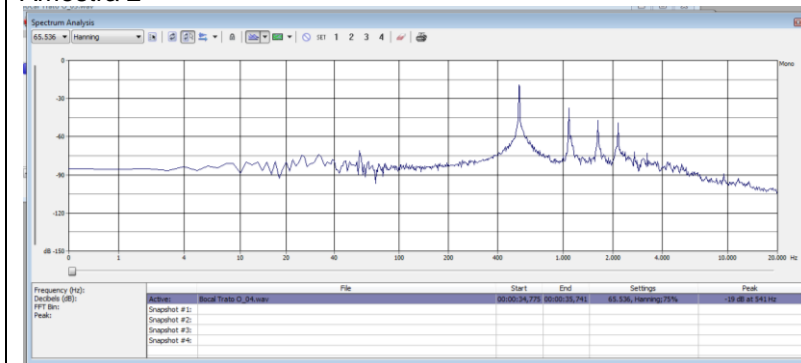


Vogal O – Microfone 1

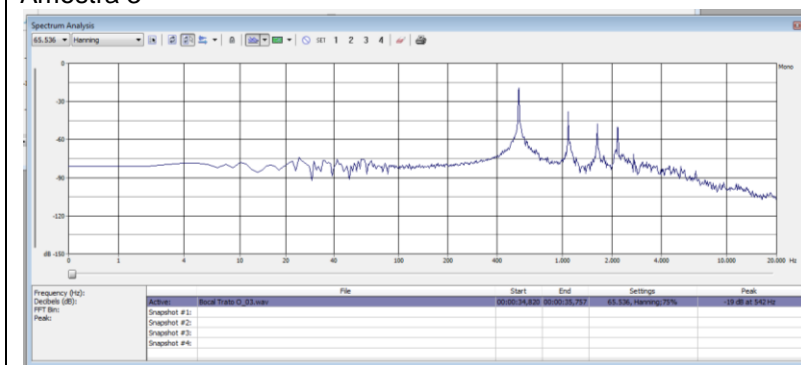
Amostra 1



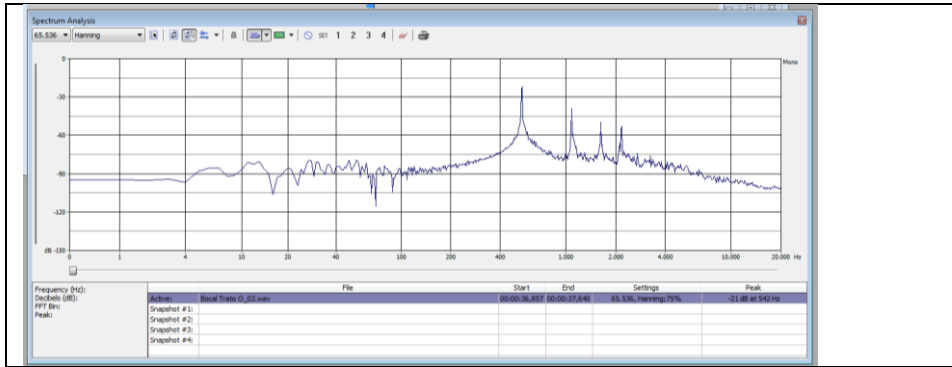
Amostra 2



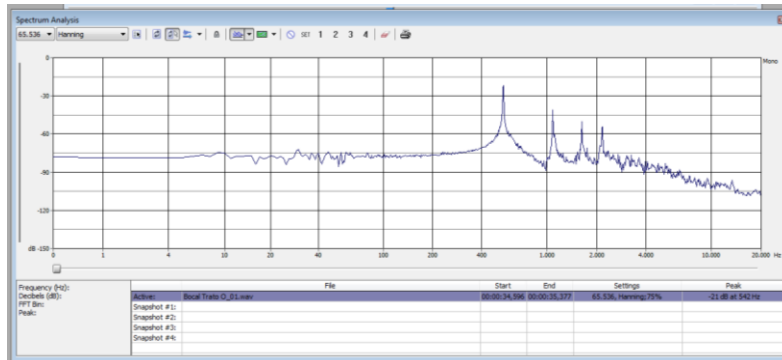
Amostra 3



Amostra 4

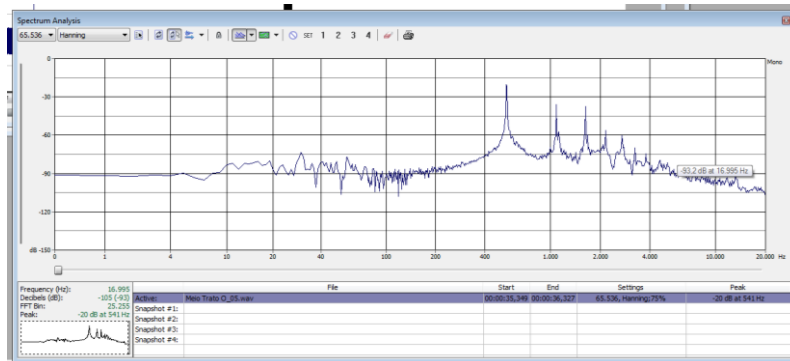


Amostra 5

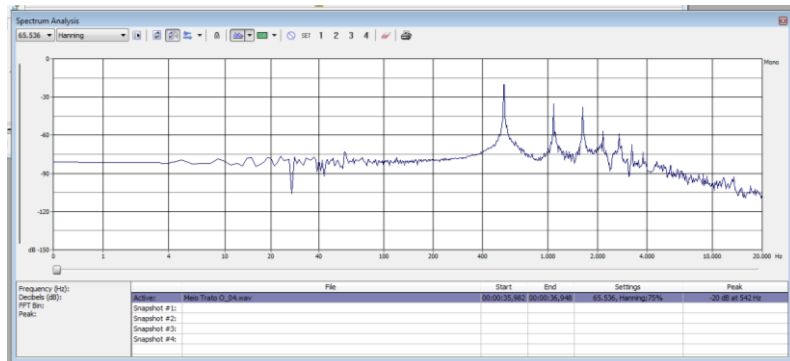


Vogal O – microfone 2

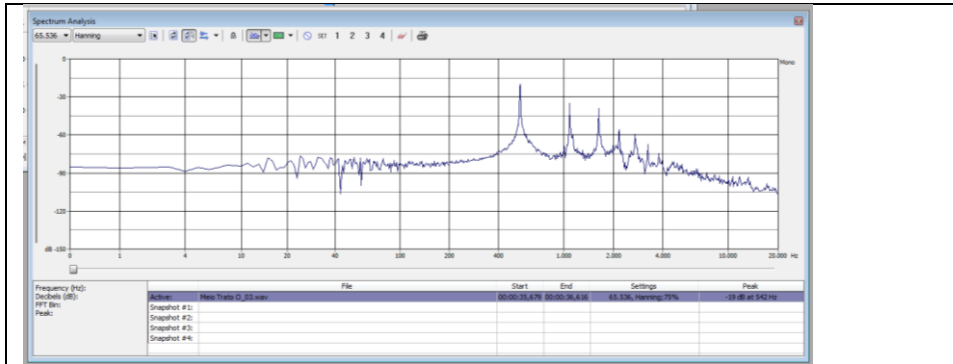
Amostra 1



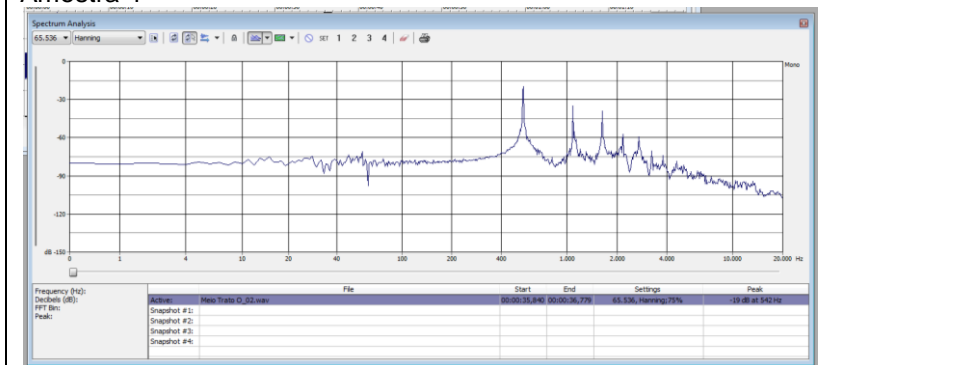
Amostra 2



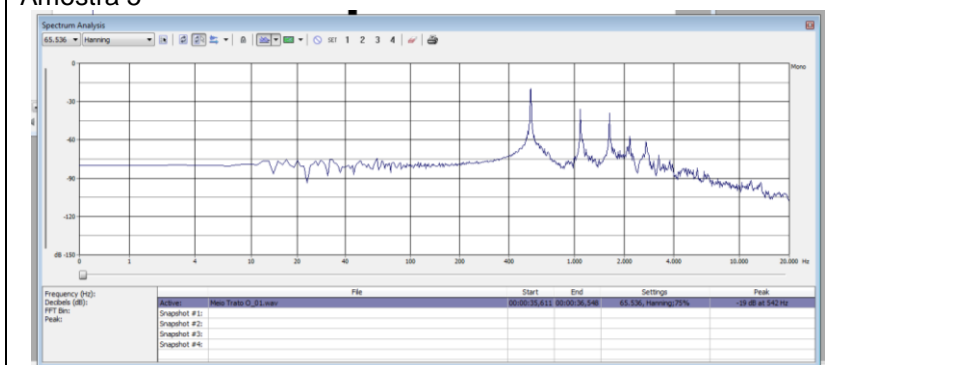
Amostra 3



Amostra 4

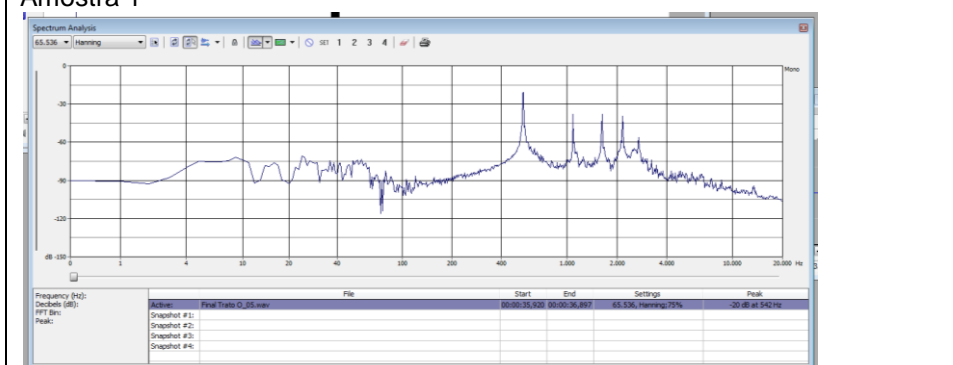


Amostra 5

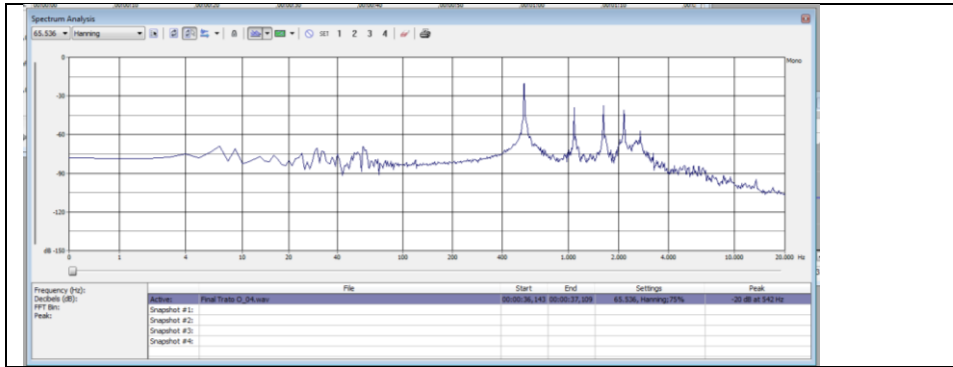


Vogal O – microfone 3

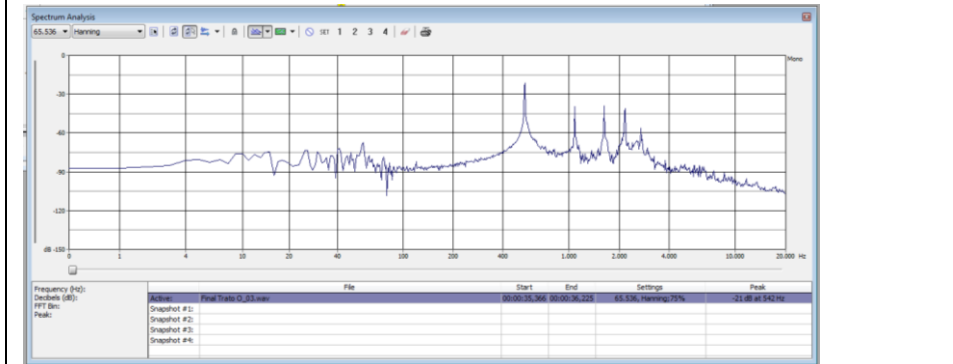
Amostra 1



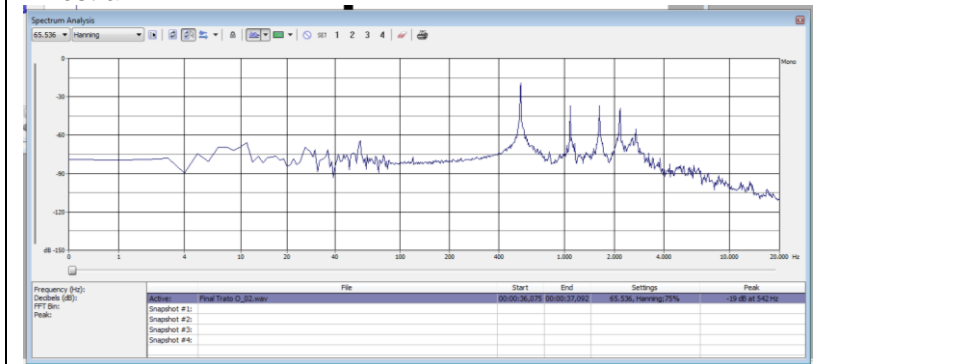
Amostra 2



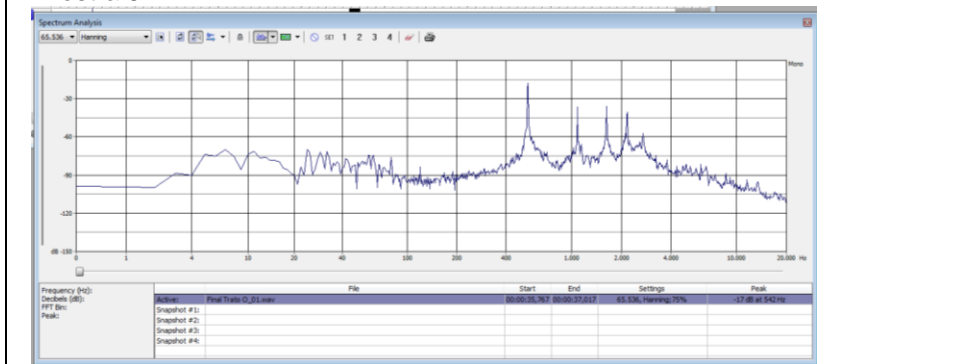
Amostra 3



Amostra 4

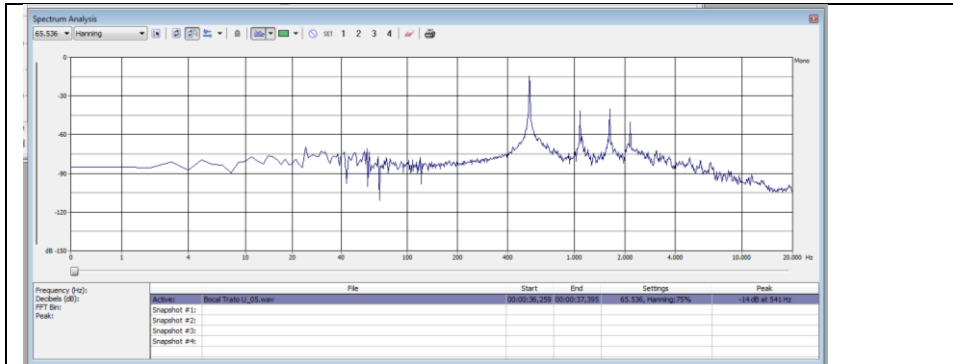


Amostra 5

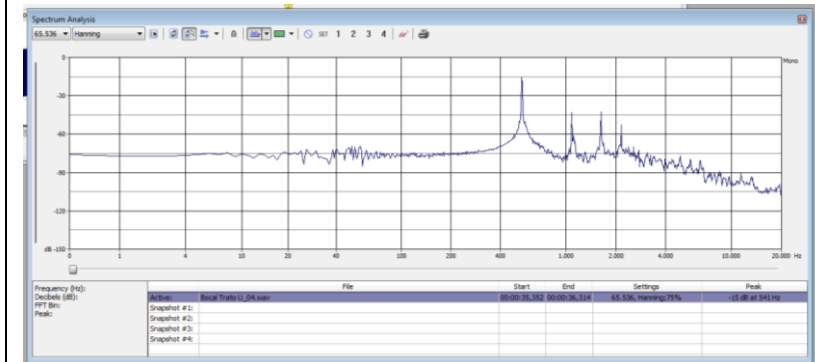


Vogal U – Microfone 1

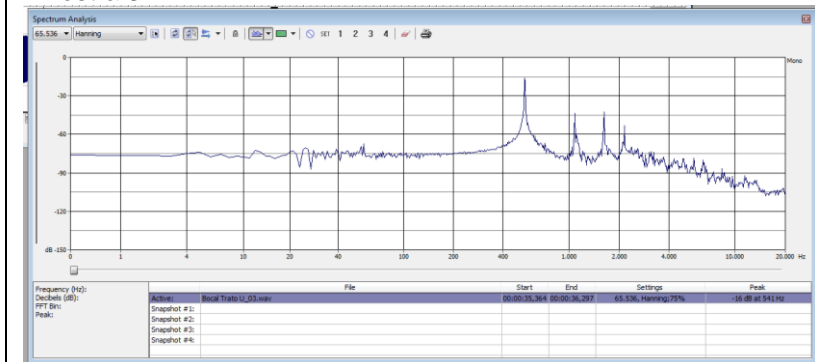
Amostra 1



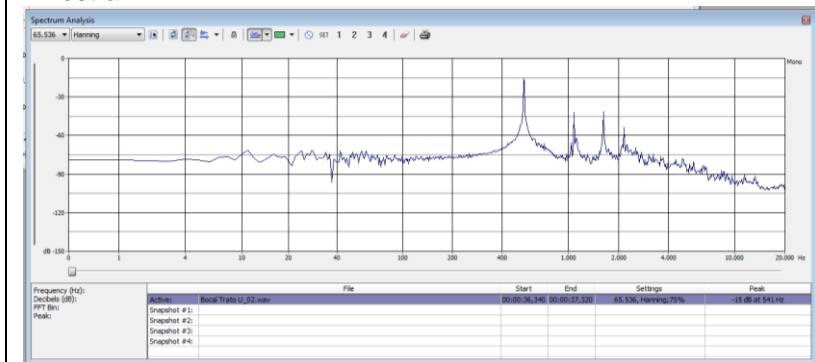
Amostra 2



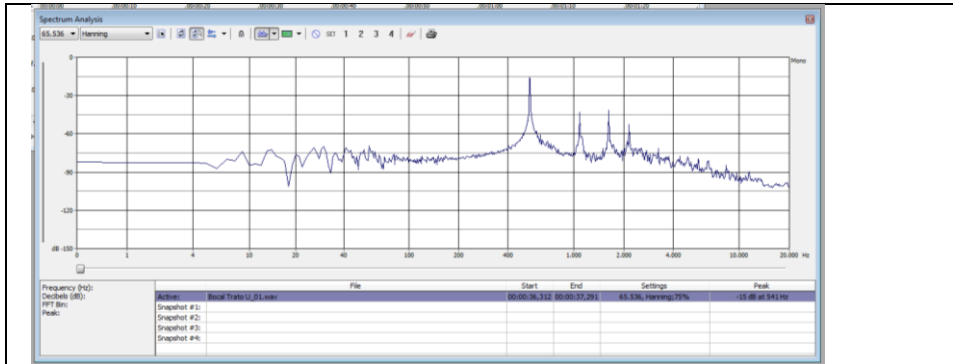
Amostra 3



Amostra 4

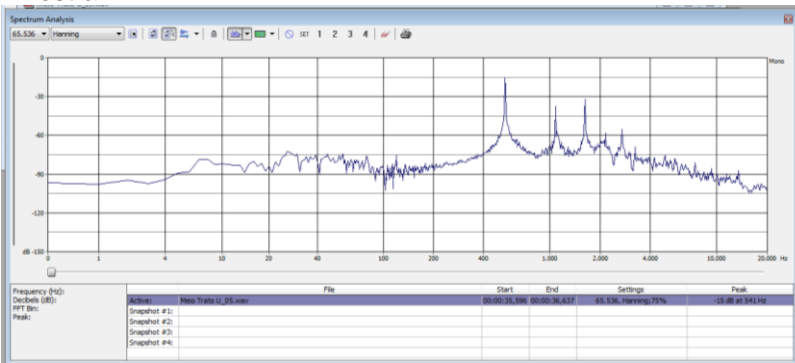


Amostra 5

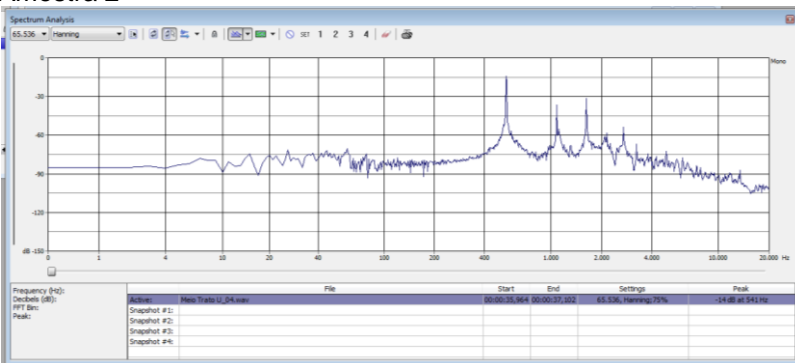


Vogal U – microfone 2

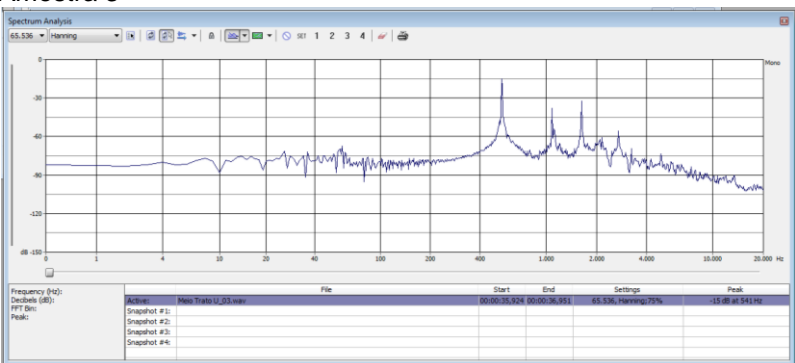
Amostra 1



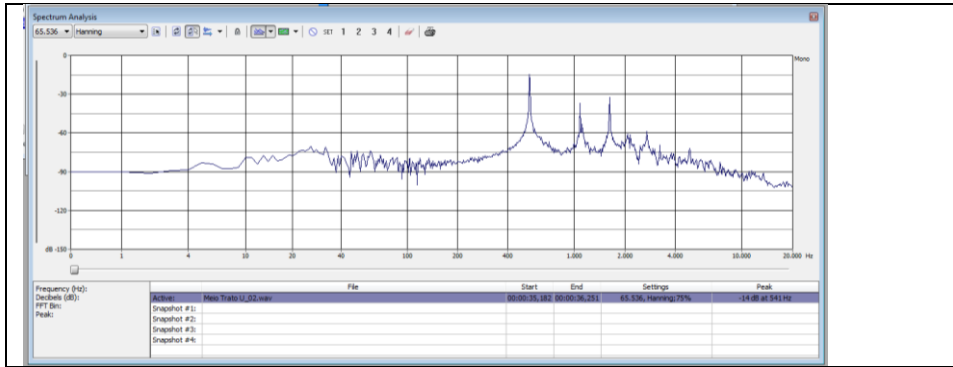
Amostra 2



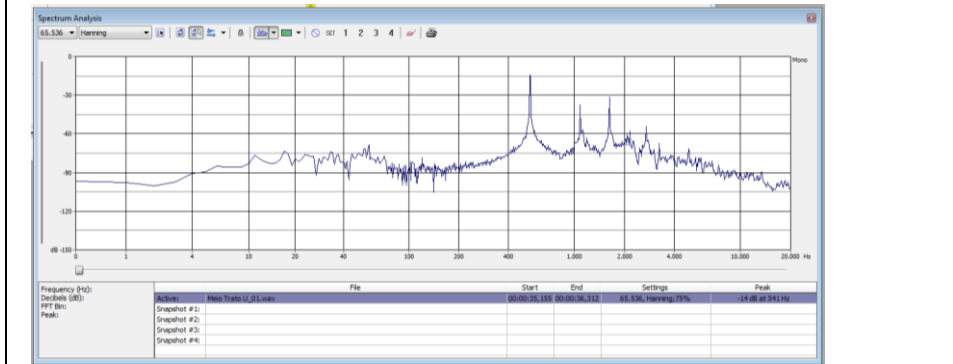
Amostra 3



Amostra 4

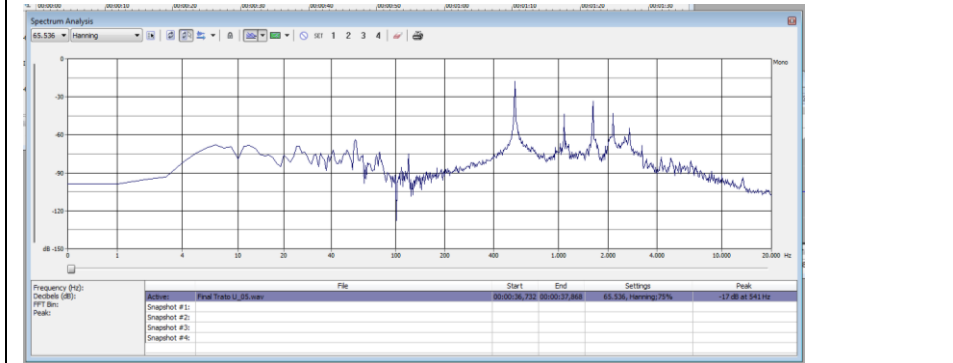


Amostra 5

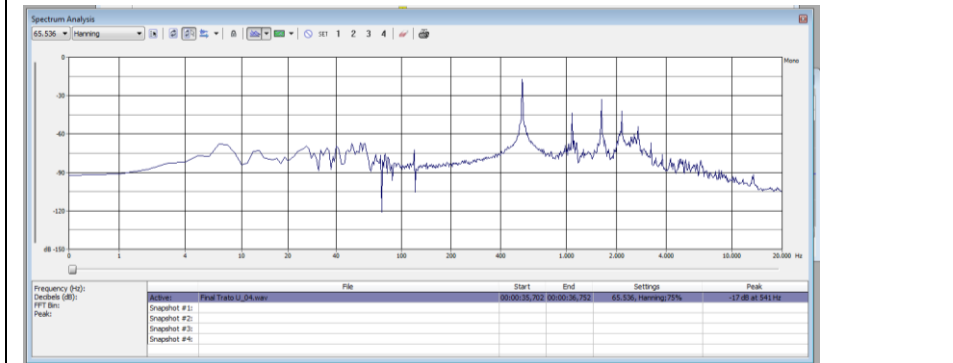


Vogal U – microfone 3

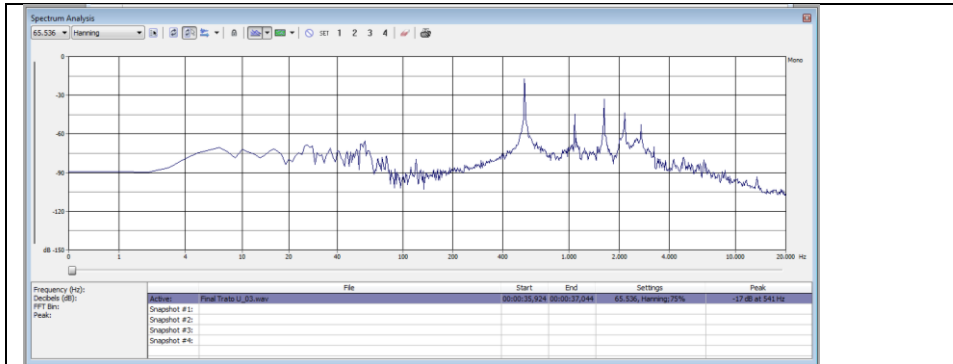
Amostra 1



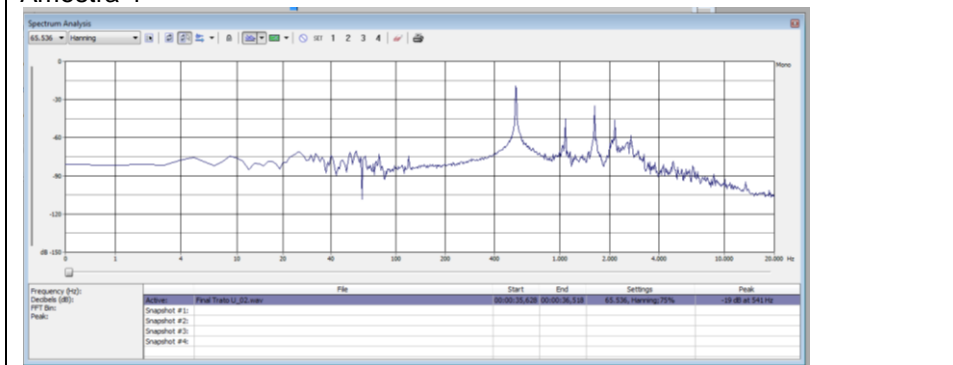
Amostra 2



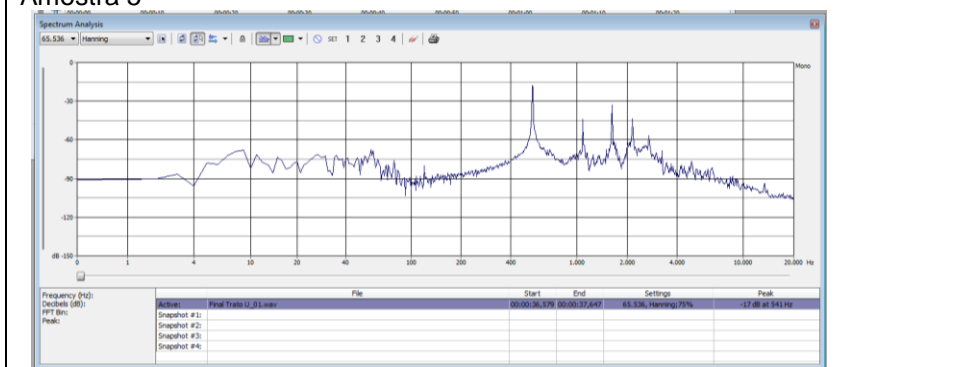
Amostra 3



Amostra 4



Amostra 5



Anexo IV

Valores de frequência e amplitude das gravações

A			Harmônico 1	2	3	4
A	Mic 1	Amostra 1	-19,7 dB	-51,3 dB	-45,1 dB	-57 dB
			537 Hz	1075 Hz	1616 Hz	2154 Hz
		2	-17 dB	-46,7 dB	-45 dB	-55,5 dB
			536 Hz	1072 Hz	1613 Hz	2151 Hz
		3	-15 dB	-49,6 dB	-42,8 dB	-57,5 dB
			537 Hz	1077 Hz	1615 Hz	2151 Hz
	4	-16 dB	-50,3 dB	-42,4 dB	-55,5 dB	
		537 Hz	1077 Hz	1616 Hz	2150 Hz	
	5	-17 dB	-48 dB	-43,6 dB	-54,7 dB	
		536 Hz	1076 Hz	1614 Hz	2150 Hz	
	Mic 2	Amostra 1	-16,5	-39,5	-37,7	-55,2
			536	1076	1616	2151
		2	-17,4	-39,6	-40,3	-55,5
			536	1077	1616	2150
		3	-17	-42,5	-43,4	-56
			536	1075	1615	2151
	4	-16	-46	-38	-55,6	
		537	1076	1616	2152	
5	-17	-49	-41,5	-56,4		
	536	1077	1614	2151		
Mic 3	Amostra 1	-16,5	-51,5	-37,7	-41,4	
		537	1076	1616	2152	
	2	-16,5	-52,4	-38,6	-43,2	
		538	1076	1613	2152	
	3	-17	-50,3	-37,7	-46	
		536	1077	1616	2151	
4	-16	-49,6	-40,3	-49,3		
	537	1077	1616	2150		
5	-17,2	-46,7	-43,4	-42,7		
	536	1072	1615	2151		

			Harmônico 1	2	3	4	
E	Mic 1	Amostra 1	-17 dB	-40,3 dB	-44,1 dB	-50 dB	
			543 Hz	1093 Hz	1636 Hz	2178 Hz	
		2	-15	-40	-43	-52,6	
			540	1190	1632	2174	
		3	-13,5	-39,7	-44	-54	
			542	1192	1633	2180	
		4	-16	-38,9	-43,6	-53,5	
			542	1194	1639	2178	
		5	-17	-40,3	-47,8	-50,6	
			539	1190	1635	2176	
		Mic 2	Amostra 1	-12	-32,2	-29,4	-43,2
				530	1066	1595	2119
	2		-15	-35,6	-30	-45	
			534	1072	1600	2122	
	3		-14	-32,5	-32,7	-43,7	
			532	1070	1598	2120	
	4		-14,7	-33,6	-34,5	-43,7	
			535	1068	1598	2124	
	5		-17	-32,8	-29	-43,2	
			538	1066	1600	2120	
	Mic 3		Amostra 1	-17	-40,3	-31,2	-45
				544	1093	1636	2191
		2	-16,7	-38,2	-32,5	-43,4	
			542	1070	1602	2123	
3		-17	-35,4	-30	-45,2		
		544	1076	1623	2132		
4		-15,8	-38	-32,4	-44,3		
		538	1068	1598	2187		
5		-16	-40,2	-30,2	-43,5		
		542	1076	1600	2122		

			Harmônico 1	2	3	4
I	Mic 1	Amostra 1	-19 dB	-50,6 dB	-51,5 dB	-60,4 dB
			539 Hz	1084 Hz	1627 Hz	2095 Hz
		2	-18	-50,4	-51,2	-60
			539	1084	1627	2094
		3	-19	-51	-51,4	-60,5
			539	1088	1628	2094
		4	-18	-51	-51,6	-60,7

			538	1085	1627	2045
		5	-19	-51,2	-51	-60,6
	Mic 2	Amostra 1	538	1084	1626	2095
			-16 dB	-44,1	-44,1	-56,1
		2	539 Hz	1084	1622	2088
			-17	-44	-44	-56
		3	539	1085	1622	2100
			-17	-46	-46	-60
		4	538	1087	1621	2098
			-18	-45	-50	-55
		5	539	1084	1623	2089
			-18	-44	-48	-60
	Mic 3	Amostra 1	539	1084	1623	2095
			-24	-55,2	-49,6	-57
		2	538	1082	1627	2150
			-20	-56	-48	-60
		3	538	1082	1625	2143
			-21	-55	-49	-56
		4	538	1084	1625	2160
			-21	-54	-47	-55
5		539	1085	1626	2150	
		-22	-56	-46	-60	
		538	1083	1627	2158	

O	Mic 1	Amostra 1	Harmônico 1	2	3	4	
			-19 dB	-44,1 dB	-44,1 dB	-48,7 dB	
		2	542 Hz	1087 Hz	1636 Hz	2172 Hz	
			-20	-44	-44	-49	
		3	542	1085	1540	2172	
			-21	-46	-45	-49	
		4	541	1087	1638	2175	
			-19	-45	-50	-47	
		5	541	1084	1636	2175	
			-22	-44	-49	-48	
		Mic 2	Amostra 1	542	1084	1632	2174
				-18 dB	-33,1	-37,7	-54,2
	2		542 Hz	1088	1633	2179	
			-19	-33	-40	-54	
	3		542	1087	1635	2178	
			-22	-32	-38	-55	

		4	544	1088	1640	2175
			-19	-34	-43	-54
		5	542	1089	1634	2177
			-18	-33	-40	-56
		Amostra 1	544	1087	1635	2175
			-25	-42,3	-42,3	-44,1
	2	542	1087	1631	2178	
		-22	-43	-42	-45	
	3	543	1088	1633	2178	
		-23	-42	-44	-44	
	4	546	1087	1632	2175	
		-25	-40	-42	-44	
	5	542	1089	1634	2177	
		-23	-41	-42	-45	
			544	1088	1633	2178

U			Harmônico 1	2	3	4
Mic 1	Amostra 1	-17 dB	-34 dB	-45 dB	-54,2 dB	
		542 Hz	1087 Hz	1636 Hz	2694 Hz	
	2	-18 dB	-34 dB	-45 dB	-56 dB	
		542 Hz	1088 Hz	1634 Hz	2695 Hz	
	3	-19	-33	-46	-54	
		542	1087	1636	2690	
	4	-17	-32	-44	-55	
		544	1087	1634	2690	
	5	-19	-34	-43	-56	
		543	1089	1635	2694	
	Mic 2	Amostra 1	-14	-34,9	-30,3	-55,2
			541	1088	1628	2712
2		-14	-33	-32	-55	
		542	1087	1630	2710	
3		-15	-34	-30	-56	
		541	1088	1634	2714	
4		-14	-32	-32	-55	
		543	1089	1632	2712	
5		-16	-33	-31	-54	
		542	1087	1630	2713	
Mic 3	Amostra 1	-18	-45	-33,1	-51,5	
		541	1087	1631	2721	

		2	-19	-43	-32	-53
			542	1088	1632	2719
		3	-19	-42	-30	-52
			543	1087	1631	2718
		4	-18	-40	-31	-51
			542	1087	1633	2714
		5	-17	-42	-30	-52
			541	1088	1634	2714

Anexo V**CD contendo as gravações analisadas**