FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

GLAUCIA VERENA SAMPAIO DE SOUZA

**CONSEQUÊNCIAS ACÚSTICAS DA VARIAÇÃO TONAL NA
EMIÇÃO DE VOGAL CANTADA EM SOPRANOS**

(Versão corrigida. Resolução CoPGr 6018/11, de 1 de novembro de 2011. A versão original está disponível na Biblioteca da FMUSP)

SÃO PAULO

2018

GLAUCIA VERENA SAMPAIO DE SOUZA

**Consequências acústicas da variação tonal na emissão de vogal
cantada em sopranos**

Dissertação a ser apresentada à
Faculdade de Medicina da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Programa de Ciências da Reabilitação
Orientadora: Profa. Dra. Nair Kátia Nemr

SÃO PAULO

2018

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus ancestrais, heróis e heroínas, que deram suas vidas para que minha voz fosse escutada hoje, aos meus orixás que me deram o axé necessário para que eu pudesse prosperar em meu caminho nessa árvore de raízes profundas e milenar. Sempre lembrando em mim a filosofia Ubuntu de ser quem sou, porque nós somos.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora supimpa Prof^a Kátia Nemr, que há tanto tempo já me orienta na trajetória acadêmica e ao longo dessa estrada. Sempre a admiro pela forma humana e perspicaz em desenvolver com competência os estudantes ao seu redor, a tenacidade das pesquisas realizadas no laboratório e, sobretudo, a manutenção do olhar fresco para a abertura de novos horizontes e inovação.

À Prof^a Márcia Simões-Zenari, que também me acompanha nessa trajetória há bastante tempo, sempre atenta aos detalhes e a oferecer esclarecimentos de maneira assertiva e delicada, apontando o melhor caminho a ser percorrido.

Aos membros da banca de qualificação, Prof^a Marta Andrada, Prof^a Zuleica Camargo e Prof^a Márcia Menezes, pela possibilidade de compartilhamento e discernimento para finalização desse trabalho. E também para o suplente Prof^o Ricardo Ballesterro com sugestões pertinentes e compartilhamento do tema.

Às instituições OSESP e EMESP, em especial aos Coros e equipe de direção e produção. Ao Ópera Estúdio e elenco e seus organizadores Mauro Wrona, Norma Gabriel e Danilo Gambini pela atenção e carinho ao tema desse mestrado, me oferecendo todo auxílio possível para realização da coleta.

Ao Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes e ao professor Francisco Campos pela generosidade em me ajudar durante o processo da coleta e também por garantir as gravações em espaço adequado.

Aos professores de canto Edna de Oliveira, Laura de Souza, Maria Lúcia Waldow, Carlos Eduardo e Andrea Kaiser por compartilharem o tema e me auxiliarem com a logística da pesquisa.

À Marta Dalila Mauler por ser uma grande incentivadora ao longo da minha trajetória de unir arte e ciência.

À Janaína Simões por compartilhar sua trajetória e me oferecer suas palavras sábias e incentivo fraternal ao longo dessa jornada.

Ao João Marcos Trindade Duarte por estar comigo e de forma tão generosa me auxiliou na finalização desse trabalho.

À minha família por compreender minhas ausências, me acalentando com amor e suporte necessários para este período de crescimento.

Às minhas amigas e amigos que me ofereceram, generosamente e incessantemente, energia para que eu pudesse seguir esse caminho.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta dissertação está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências de acordo com o *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias.

Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena, 3ª ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO	7
3 - REVISÃO DA LITERATURA	8
4 - MÉTODO	11
5 - RESULTADOS	39
6 - DISCUSSÃO	48
7 - CONCLUSÃO.....	51
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
9- ANEXOS.....	61
Anexo A – Aprovação do Projeto – Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.....	61
Anexo B – Termo de Consentimento Livre Esclarecido – TCLE.....	62
Anexo C – Justificativa Cálculo Amostral.....	65
10- APÊNDICE	66
Equipamentos Utilizados.....	66
Exemplo de estante com regulagem de altura.....	67
Exemplos individuais de variação do Diagrama do Trato.....	68
Quadro de revisão bibliográfica.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CAPPesq	Comitê de Ética para Análise de Projeto de Pesquisa
FFT	Fast Fourier Transformation
HCFMUSP	Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
LPC	Linear Predictive Coding
f0	Frequência Fundamental
F1	Primeiro formante
F2	Segundo formante
F3	Terceiro formante
F4	Quarto formante
F5	Quinto formante
H1	Primeiro harmônico
H2	Segundo harmônico
H3	Terceiro harmônico
H4	Quarto harmônico
H5	Quinto harmônico
Hz	Hertz
C3	Dó maior na terceira escala
Eb4	Mi bemol na quarta escala
Bb4	Si bemol na quarta escala
<	Menor
>	Maior

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Extração de f_0	15
Figura 2 - Extração de formantes F1-F4.....	15
Figura 3 – Extração do formante F5	16
Figura 4 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade grave	16
Figura 5 - Extração f_0	17
Figura 6 - Extração de formantes F1- F4.....	17
Figura 7 – Extração de formante F5	18
Figura 8 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade média	18
Figura 9 - Extração automática f_0	19
Figura 10 - Extração de formantes F1- F4.....	19
Figura 11 - Extração do formante F5.....	20
Figura 12 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade aguda	20
Figura 13 - Seleção do pulso de onda na tonalidade grave.....	21
Figura 14 - Seleção da faixa do espectro	22
Figura 15 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade grave	22
Figura 16 - Seleção do pulso de onda na tonalidade média	23
Figura 17 - Seleção da faixa do espectro	23
Figura 18 - Diagrama do Espectro na tonalidade média.....	24
Figura 19 - Seleção do pulso de onda na tonalidade aguda.....	24
Figura 20 - Seleção da faixa do espectro	25
Figura 21 - Diagrama do Espectro na tonalidade aguda	25
Figura 22 - Conversão de Taxa de Amostragem	26
Figura 23 - Seleção do pulso da onda sonora após conversão de amostragem	27
Figura 24 - Seleção comando LPC.....	28
Figura 25 - Seleção do número de picos de formantes	29
Figura 26 - Comando para desenho a Curva LPC.....	30
Figura 27 - Desenho Curva LPC <i>Smoothing</i>	31
Figura 28 - Conversão da taxa de amostragem.....	33
Figura 29 - Análise do espectro pelo LPC de autocorrelação.....	34
Figura 30 - Parâmetros adotados para o LPC de autocorrelação.....	35
Figura 31 - Conversão LPC para segmento do Trato Vocal	36
Figura 32 - Diagrama do Trato Vocal.....	37

Figura 33 – Valores mínimos, médios e máximos de f0 e dos formantes na emissão da vogal /a/ em tonalidade grave	40
Figura 34 - Valores mínimos, médios e máximos de f0 e dos formantes na emissão da vogal /a/ em tonalidade média	40
Figura 35 - Valores mínimo, médio e máximo de f0 e formantes tonalidade aguda.....	41
Figura 36 – Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade grave.....	42
Figura 37 - Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade média	43
Figura 38 - Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade aguda.....	44
Figura 39 – Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade grave de uma das sopranos.....	45
Figura 40 - Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade média de uma das sopranos.....	46
Figura 41 - Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade aguda de uma das sopranos.....	47
Figura 42 – Equipamentos utilizados	66
Figura 43 – Exemplo de estante com regulagem de altura.....	67
Figura 44- Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade grave em uma soprano.....	68
Figura 45 – Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade média em uma soprano.....	68
Figura 46 - Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade aguda em uma soprano.....	69
Quadro 1 – Caracterização da Amostra.....	12
Quadro 2 – Revisão Bibliográfica.....	70

RESUMO

Souza GVS. *Consequências acústicas da variação tonal na emissão de vogal cantada em sopranos* [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2018.

INTRODUÇÃO: as possibilidades de inspeção acústica de dados, assim como suas correlações com aspectos perceptivos e fisiológicos, favorecem a análise do comportamento vocal. Na voz cantada tem-se características específicas de todos os parâmetros envolvidos durante o mecanismo de fonação sendo possível analisá-los acusticamente. **OBJETIVO:** descrever e analisar a frequência fundamental e formantes na variação tonal na vogal /a/ em sopranos. **MÉTODOS:** a amostra foi composta por 30 participantes do sexo feminino sem queixa vocal na faixa etária de 20 a 45 anos. Todas as emissões foram gravadas com a vogal /a/ sustentada durante cinco segundos com três repetições na frequência grave (C3 – 261 Hz), média (Eb4 – 622 Hz) e aguda (Bb4 – 932 Hz) confortável para classificação vocal. No total foram analisadas 90 amostras com extração digital da frequência fundamental (f0) e dos cinco primeiros formantes (F1,F2,F3,F4 e F5) e confirmação manual. Para análise estatística foi aplicado o teste de aderência Shapiro-Wilks e o teste de Friedmann para comparação de amostras pareadas. **RESULTADOS:** nas emissões em tons grave e médio, foram observados maiores valores nas frequências dos cinco primeiros formantes em relação ao valor de f0. Observou-se aproximação entre F1 e F2 nas duas tonalidades, com aglomerado de harmônicos na região de F3, F4 e F5 no tom grave e aproximação entre F3 e F4, pico em F5 e sintonia de harmônicos no tom médio. No entanto, na emissão em tom agudo, observou-se aumento dos valores de F2, F3, F4 e F5 em relação à f0, bem como a aproximação entre eles, além de sintonia entre f0 e F1, H2 e F2, H3 e F3, H4 e F4, e H5 e F5. **CONCLUSÃO:** as mudanças de tonalidade mostram diferenças no comportamento da frequência fundamental e dos formantes do som em sopranos. A comparação das emissões em f0 nas três tonalidades mostra modificações específicas do trato vocal harmônicos, com faixa de ganho extra em 261 Hz, sintonia entre picos de formantes e harmônicos em 622 Hz e equiparação de f0 e F1 em 932 Hz.

Descritores: voz; canto; sopranos; acústica; trato vocal; treinamento da voz

ABSTRACT

Souza GVS. *Acoustic consequences of tonal variation during singing in vowel phonation in Sopranos* [dissertation]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2018.

INTRODUCTION: the possibilities of acoustic investigation of data and the correlation between perceptive and physiological trends, support general analysis of vocal behavior. In singing, we have specific characteristics from all of the parameters involved in the phonation mechanism and they can be acoustically analyzed. **AIM:** describe fundamental frequency and formants during articulation of the vowel /a/ in sopranos. **METHOD:** 30 healthy trained sopranos aged 20-45 were recorded singing with the sustained vowel /a/ during five seconds in three frequencies: low (C4 - 261 Hz), mid (Eb5 - 622 Hz) and high (Bb5 - 932 Hz). They also made three repetitions comfortably for the vocal classification. 90 samples were analyzed using automatic extraction from the fundamental frequency (f0) and the five primary formants (F1, F2, F3, F4 and F5) as well as manual confirmation. For statistical analysis, the Shapiro-Wilks adherence test and Friedmann test for paired samples were considered. **RESULTS:** in the low phonation frequency, all formants F1, F2, F3, F4 and F5 were higher than (f0). In the mid-frequency each one of the five formants were higher than (f0). However, in high frequency, the first formant was equated with f0 whereas F2, F3, F4 and F5 were increased. In comparison with (f0) and (F1), the synchrony between f0 and F1, H2 and F2, H3 and F3, H4 and F4 and H5 and F5 was also noticed. **CONCLUSION:** the pitch changes have shown differences in formant and fundamental frequency behavior in sopranos. The comparison between the three tunes showed us specific vocal tract adaptation for singing observed by harmonics with extra band gain, in 261 Hz, 622Hz and the equalization of F1=f0 in 932 Hz.

Descriptors: voice; singing; sopranos; acoustics; vocal tract; voice training

1- INTRODUÇÃO

A identificação acústica dos sons da fala se dá a partir de diferentes propriedades da produção de vogais e consoantes. A articulação ocorre por meio da atuação coordenada das estruturas fonoarticulatórias: lábios, mandíbula, língua, palato mole, faringe e laringe (Sundberg, 2015). No canto há diversos estilos musicais com consequentes diferenças nos ajustes do trato vocal e na articulação (Sundberg, 1974; Carlson et al., 1992; Weiss et al., 2001; Sundberg, 2009). Sundberg (1990) afirmou que cantores utilizam suas vozes de forma específica e com padrões de respiração, fonação e articulação diferentes quando comparados com a população de não cantores.

Autores consideram que determinados aspectos relacionados à voz cantada são frequentemente descritos a partir de percepções e sensações autorreferidas pelos cantores (Ekholm et al., 1998). Os ajustes de fonte e filtro podem variar de acordo com a técnica e os diversos estilos de canto. A investigação acerca dos diferentes tipos de estética de cada estilo de canto auxilia na compreensão da forma saudável para cada estilo, na definição de comportamentos esperados ou mesmo comportamento de risco para o desenvolvimento de possíveis lesões (Butte et al., 2009).

Bezerra et al. (2008) analisaram a produção do vibrato em dois estilos, lírico e sertanejo, em 20 cantores homens, classificação vocal não descrita pelo estudo, e mediram a taxa de vibrato e sua extensão. Cantores líricos apresentaram maior taxa de vibrato e regularidade em relação aos cantores sertanejos.

Zampieri et al. (2002) estudaram 26 cantores profissionais do estilo popular (10 homens e 16 mulheres) com atuação em baile e que imitavam o estilo lírico para *cover* sem classificação vocal definida. Concluíram que o cantor popular, ao se aproximar da emissão do estilo lírico, modifica a qualidade vocal, apresenta aumento de vibrato e volume vocal, com ajustes laríngeos que se diferem nos dois estilos. A presença de constrição laríngea ântero-posterior e mediana durante o canto em estilo lírico imitado foi

observada neste estudo, bem como anormalidades laríngeas como refluxo gastroesofágico e inadequação de técnica vocal.

Dentre os diversos estilos destaca-se o canto lírico com maior número de publicações sobre o detalhamento dos ajustes realizados e efeitos acústicos, ainda assim, em número limitado e com amostras restritas. O interesse pelo canto lírico pode ser justificado em função de suas características de ajustes refinados (Sundberg, 1990; Carlson, 1992; Weiss et al., 2001; Callan, 2006; Sundberg, 2015). Os estudos se detiveram mais frequentemente com homens em função da limitação dos algoritmos dos programas de análise acústica que tinham dificuldade em quantificar frequências agudas (Titze, Mapes e Story, 1994; Sundberg e Skoog, 1997; Bretos J e Sundberg J, 2003). Com o avanço tecnológico e programas de código aberto, recursos técnicos e matemáticos foram aperfeiçoados possibilitando estudos aprofundados em sopranos (Boersma e Weenink, 2018). Os ajustes complexos envolvidos no canto lírico dizem respeito ao padrão de emissão sonora e às modificações do trato vocal. O equilíbrio desses ajustes resultará em melhor performance do cantor (Sundberg, 1990).

Tendo como base a teoria fonte e filtro, a acústica do canto tem sido explorada pelos especialistas para melhor compreensão da demanda vocal realizada por cantores, pois, essa população realiza modificações fisiológicas com ajustes diferenciados dos órgãos fonoarticulatórios para garantia de uma melhor qualidade de voz. (Fant, 1960; Sundberg, 1990, Sundberg 2009. Morris et al., 2016).

Por meio da teoria Fonte-Filtro da Produção da Fala (Fant, 1960) pode-se compreender a função de transferência, que se altera de acordo com as mudanças realizadas no trato vocal conforme a vogal utilizada atuando como filtro do sinal sonoro que por sua vez interfere na projeção vocal. As regiões que representam grupos de harmônicos amplificados no trato vocal recebem o nome de formantes do som (Fant, 1960). Os formantes podem ser identificados por duas características: a frequência central e a largura de banda, sendo esta última uma medida de taxa de amortecimento no domínio temporal (Kent e

Read, 2015). No entanto, neste estudo serão apresentados apenas os aspectos das frequências dos mesmos.

Na literatura observa-se geralmente estudos dos quatro primeiros formantes, sendo que os dois primeiros são os mais pesquisados. O F1 está associado à cavidade posterior da boca, nas frequências de 250 a 700 Hz, relacionado à abertura da mandíbula, altura da língua na cavidade oral e constrição faríngea; F2 está associado à modificação do corpo de língua, deslocamento horizontal da língua e elevação posterior da língua, ocorre nas frequências 700 a 2500 Hz; F3 refere-se à influência da cavidade situada imediatamente atrás dos incisivos; e F4 associa-se ao comprimento do trato vocal, configuração do tubo da laringe e volume do ventrículo laríngeo (Sundberg, 1974). Considera-se ainda o “formante do cantor”, encontrado geralmente em vozes com treinamento específico do canto erudito; é definido pela amplificação sonora em torno das frequências de 2000, 3000 e 4000 Hz, promovendo a junção do terceiro e quarto formante, com incremento de energia de 3 a 5 dB na amplitude das vogais; é geralmente encontrado em vogais mais graves, sendo dessa forma controversa sua ocorrência em sopranos. A ocorrência do quinto formante em cantores homens geralmente está associada ao alargamento do seio piriforme com valores ao redor de 3kHz. (Sundberg, 1974; Sundberg, 1990; Carlson e Sundberg, 1992; Behlau, 2001; Weiss, 2001; Cordeiro et al., 2007; Sundberg, 2009 e Gusmão et al., 2010).

Sundberg e Skoog (1997) estudaram diferenças de abertura mandibular de acordo com vogais em dez cantores, uma soprano, quatro mezzosopranos, dois tenores, dois barítonos e um baixo; abertura mandibular mais ampla indica valores de F1 mais elevados do que os valores de frequência fundamental e na vogal /a/ para todas as classificações vocais referiram diminuição de esforço vocal durante o canto; os autores apontam ainda a redução de constrição da língua como um dos possíveis recursos para aumentar os valores de F1.

Echternach et al. (2008) analisou, por meio de ressonância magnética, as estratégias articulatórias realizadas por uma soprano em diferentes vogais e

frequências e observou a mudança no formato da língua como estratégia na transição de registros e modificação dos formantes.

Weiss et al. (2001) pesquisaram o formante do cantor em dez sopranos entre 20 e 65 anos e observaram reforço no traçado de harmônicos na emissão de vogais graves/médias na região de 2,6 a 4,6 KHz e, nas vogais agudas na região de 4,7 KHz demonstrando haver nessas cantoras projeção maximizada, produção de f_0 elevada com reforço de harmônicos acima de 5kHz, diferentemente do formante do cantor encontrado em homens.

Além da investigação das frequências dos formantes, outras possibilidades de inspeção acústica são descritas na literatura.

As possibilidades de inspeção acústica de dados, assim como suas correlações com aspectos perceptivos e fisiológicos, viabilizam a investigação do sinal de voz e fala no plano segmental das vogais e consoantes e sua interface com a análise da coarticulação, prosódia e qualidade vocal (Flanagan, 1958; Fant, 1960; Fant, 1971; Kent et al., 1992; Titze et al., 1993; Whalen, 1993; Flanagan, 2013; Sundberg, 2015). Nessa inspeção pode-se utilizar, dentre outros instrumentos, o *Linear Predictive Coding* (LPC), o *Fast Fourier Transform* (FFT) e o Diagrama de Tubos.

O *Linear Predictive Coding* (LPC) é uma das possibilidades de inspeção acústica destinada para representação gráfica em curvas das medidas de formantes que se relacionam com os ajustes realizados pelo trato vocal, sendo possível esta análise para vogais e ditongos orais (Atal e Hanauer, 1971; Milenkovic, 1993; Miller et al., 1997; Diaz e Rothman, 2003; Barbosa e Madureira, 2015).

Miller et al. (1997), estudaram o uso de técnicas de fonação não periódica em comparação com fonação cantada, em cantor baixo-barítono, com objetivo de avaliar o grau de similaridade entre as duas emissões. Para isso utilizaram análise acústica espectral, curva LPC e de ressonância magnética. Os resultados indicaram que o ajuste do trato vocal adotado para o canto não é o mesmo do que fonação periódica.

Diaz e Rothman (2003), analisaram amostras de vibrato de oito cantores, cinco homens e três mulheres com o objetivo de relacionar periodicidade com melhor qualidade de vibrato. Os resultados mostraram que a qualidade do vibrato está relacionada com sua periodicidade espectrográfica.

O *Fast Fourier Transform* (FFT) é o procedimento de cálculo da representação da análise de Fourier que permite descobrir a amplitude e a fase de ondas periódicas simples que por sua vez compõem uma onda periódica complexa (Sapir e Larson, 1993; Kent e Read, 2015; Morris, Okerlund e Craven, 2016).

Sapir e Larson (1993), analisaram a atividade da musculatura supralaríngea no vibrato em quatro sopranos. Utilizaram análise acústica FFT e eletromiografia de superfície em oito tonalidades. Os resultados indicaram atividade relacionada acusticamente e muscular, principalmente, da musculatura supra-hioídea anterior e musculatura paralaríngea em todas as tonalidades.

Morris, Okerlund e Craven. (2016) estudaram as diferenças de padrões espectrais (FFT) e da eletroglotografia (EGG) em cantoras líricas, sopranos e mezzosopranos, durante o canto na iminência da sua transição de registro, primeira passagem. Os resultados mostraram uma transição suavizada da passagem das cantoras devido a manutenção de pressão subglótica.

O Diagrama de Tubos, ou Diagrama do Trato Vocal, possibilita a reprodução gráfica das modificações realizadas pela emissão de vogais considerando o comprimento do tubo laríngeo e sua seção transversal permitindo identificar regiões constritas e expandidas (Titze e Worley, 2009; Kent e Read, 2015; Howard, 2017).

Titze e Worley (2009), observaram dois estilos musicais, *belting* e canto lírico, com amostra de quatro cantores, dois tenores líricos e um cantor de Jazz e um cantor de musical. Realizaram comparações espectrais, modelo do comprimento do trato vocal e formantes, e os resultados apontaram modificações na relação fonte-filtro com ajustes específicos do trato vocal para

tonalidades mais altas no Jazz com uso das vogais /a/ e /ae/ e manutenção de $F1 > f_0$, já os cantores de ópera utilizam a vogal /o/ para este efeito.

Howard (2017), observou o fenômeno do movimento do trato vocal na voz cantada e falada com uso de imagens de ressonância e modelos do trato vocal em 3D com objetivo de utilizar esses modelos como instrumento musical com diferentes fontes sonoras e simular para fins didáticos os efeitos lineares da voz humana.

Na pesquisa bibliográfica realizada não foram localizados estudos que tivessem utilizado medidas acústicas de formantes em associação às modalidades de investigação descritas como o LPC, FFT e Diagrama de Tubos, em sopranos. Esse fato motivou o desenvolvimento do presente estudo visando a compreensão do fenômeno acústico da voz cantada em vozes femininas, especificamente em sopranos. Dessa forma o interesse específico na produção de vogais em diferentes variações tonais e suas diferenças e recorrências acústicas durante o canto de sopranos justifica essa proposta. A compreensão de tais aspectos nessas cantoras poderá contribuir com o aprimoramento técnico vocal em diferentes esferas, como pedagogia do canto e assessoria vocal.

2 - OBJETIVO

Descrever e analisar a frequência fundamental e formantes na variação tonal na vogal /a/ em sopranos.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

Newman e Emanuel (1991) observaram a presença ou ausência de rugosidade em diferentes emissões de f_0 . Com amostra de 40 pessoas sendo 20 homens (20 cantores) e 20 mulheres (20 cantoras), sem alteração vocal, obtiveram média dos valores de frequência fundamental em diferentes emissões e concluíram não haver alteração de qualidade vocal nas frequências pesquisadas.

Brown et al. (1993) investigaram modificações de f_0 relacionadas à idade (20-35, 40-55 e 60-85 anos) em dois grupos: 39 cantoras (21 sopranos e 18 contraltos) e 39 não cantoras. A f_0 intergrupos foi similar, e em cantoras e não cantoras houve declínio da função vocal devido à idade.

Weiss et al. (2001) estudaram a existência do “formante do cantor” em dez sopranos com idade entre 20 e 65 anos. Observaram: 1) reforço no traçado de harmônicos para emissões graves/médias, na região de 2,6 a 4,6 kHz e, na emissão aguda, na região de 4,7 kHz; 2) presença de harmônicos e expansão de onda sonora nas frequências agudas em regiões mais altas (de 8 a 10 kHz); 3) Nas tonalidades (grave, médio e agudo) tiveram mínimo de 500Hz e máximo 8kHz. Os autores concluíram que os achados se referem às diferentes adaptações do trato vocal e que nas sopranos há projeção vocal maximizada, diferentemente do “formante do cantor” encontrado em homens.

Barnes et al. (2004) estudaram a relação de reforço espectral e desempenho durante o canto em uma amostra de seis sopranos utilizando as medidas de f_0 , F_1 e F_2 . Observaram incremento de energia em regiões espectrais mais altas e concluíram que tal achado acontece possivelmente pelo estreitamento epilarígeo.

Jacobs e Kenny (2004) estudaram os efeitos do anestésico tópico, Co-phenylcaine Forte, e compararam com a condição controle, durante o canto em dez sopranos por meio de análise com reforço espectral na região 2kHz-4kHz, extensão de vibrato, jitter e shimmer por meio dos seguintes softwares Phog Realtime DSP Version 1.0 e Soundswell Signal Station Version 4.0. A conclusão foi de que as emissões de voz cantada durante a anestesia da

cavidade nasal e nasofaríngea não apresentaram alterações a condição controle de gravação inicial.

Lee et al. (2008), estudaram o pico espectral de ressonância de fala e do canto em diferentes classificações vocais na fala e no canto em cantores de ópera. Observaram, nas sete sopranos participantes, concentração de energia na região de 8-9kHz no canto e em 3kHz na fala. Os autores concluíram que cantores de ópera possuem maior concentração de energia em formantes do que não cantores.

Echternach et al. (2010), investigaram a transição de registros em quatro sopranos. Observaram por meio de imagens de ressonância magnética que as diferenças nas transições de registros peito, modal e elevado, foram principalmente na abertura de lábios e mandíbula, que se relacionaram acusticamente com a estratégia de aumento de F1 em relação à f0 nos cantores. Contudo, tais modificações não representaram mudanças sistemáticas no formato do trato vocal com a vogal /a/ do registro modal para médio, entretanto, quando F1 se aproximou de f0 no registro elevado o trato vocal se modificou consideravelmente.

Yan et al. (2013) investigaram a relação entre a classificação vocal e o tamanho e volume do trato vocal numa amostra de 27 sopranos, 32 tenores, 25 barítonos e 23 mezzosopranos. Extraíram f0, F1, F2 e F3 nas vogais /a/, /ae/, /i/ e, por meio de faringômetro, mediram o tamanho e volume do trato vocal dos cantores. Os autores concluíram que diferentes dimensões do trato vocal têm relação com as diferentes classificações vocais. As sopranos apresentaram aumento dos três primeiros formantes e menor volume e comprimento do trato vocal quando comparadas às mezzosopranos.

Duvvuru e Erickson (2016) investigaram o impacto do vibrato do canto na afinação, por meio de estímulos sintetizados. Em uma amostra de 12 sopranos e 11 mezzosopranos, os cantores deveriam emitir a nota independentemente do ornamento apresentado auditivamente. O estudo concluiu que não houve diferença na afinação independente do vibrato

apresentado entre os grupos, os cantores tentaram afinaram no alvo da tonalidade que lhe foi apresentado.

4– MÉTODO

4.1. TIPO DE PESQUISA

Trata-se de estudo transversal observacional, aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, sob No. 182/16 (Anexo A). Todos que aceitaram participar assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo B).

4.2. AMOSTRA

Participaram 30 cantoras líricas de diferentes coros profissionais da cidade de São Paulo, de acordo com cálculo amostral justificado (ANEXO C).

Critérios de Inclusão

Foram incluídas cantoras sopranos profissionais entre 20 e 45 anos, sem queixa vocal.

Critérios de Exclusão

Qualquer comprometimento ou diagnóstico que limitasse a comunicação e a realização das tarefas descritas no estudo.

A amostra foi composta por 30 sopranos com média de idade de 27,24 anos e tempo médio de estudo 7,6 anos e atuantes profissionalmente, na Fundação OSESP, Theatro Municipal e Theatro São Pedro (Quadro 1).

Quadro 1 - Caracterização da amostra

Identificação	Idade	Tempo de estudo (anos)
1	26	11
2	26	10
3	22	5
4	31	15
5	29	7
6	22	5
7	27	5
8	32	5
9	41	20
10	26	5
11	36	15
12	26	5
13	20	5
14	22	5
15	21	5
16	27	5
17	36	15
18	27	5
19	26	5
20	27	9
21	28	5
23	26	7
24	31	13
25	28	8
26	24	5
27	21	5
28	26	5
29	24	7
30	32	6

4.3 Procedimentos

Todas as participantes foram submetidas à gravação vocal em ambiente controlado acusticamente por meio do aplicativo de medição de ruído *SoundMeter*, desenvolvido pela *Digital SoundMeter*, instalado em um iPad Air® 64GB (Apple, Estados Unidos), com resposta de frequência de 20Hz a 20.000Hz e sistema operacional IOS 9.3. Todas as gravações foram realizadas com ruído abaixo de 50 dB.

A gravação foi realizada por meio do aplicativo *Shure Motiv*®, desenvolvido pela *Shure*® em 44.100 Hz, *Monosound* em formato WAV, com o microfone acoplado da modelo MOTIV MV88® (Shure, Estados Unidos) unidirecional a uma distância de 50 cm em linha reta em direção à boca (Roubeau et al., 2009). O equipamento foi colocado em uma estante de partitura e regulado de acordo com a altura das cantoras. Foi realizado piloto comparativo com a variação das medidas de distância do microfone em relação a boca, 30 cm e 50 cm, a medida de 50 cm se mostrou mais adequada para captação de todas as tonalidades sem ocorrência de grandes variações da onda sonora.

Amostra de voz cantada: emissão confortável para classificação vocal de sopranos, nas notas musicais para mulheres: C3 – 261 Hz (*pitch* grave), Eb4 – 622 Hz (*pitch* médio) e Bb4 – 932 Hz (Garcia, 1854; Weiss et al., 2001; Dinville, 2008; Roubeau et al., 2009; Gusmão et al., 2010). Antes de cada emissão foi apresentada nota musical por meio de um piano ou teclado digital acoplado a uma caixa acústica portátil. As cantoras referiram aquecimento vocal prévio. Foi solicitado que a cantora emitisse cada uma das vogais por cerca de cinco segundos, para a extração das medidas, por meio do *software* Praat versão 6.0.15 para sistema operacional Windows 7 - 32 bits (Dromrey et al., 2011).

As amostras de canto foram realizadas em três repetições, tendo sido considerado para fins de análise a melhor emissão a partir da nitidez do traçado espectrográfico definida pela pesquisadora.

Parâmetros Acústicos avaliados:

1) Extração de medidas de f_0 , F1, F2, F3, F4 e F5

Foi realizada a extração de f_0 da vogal /a/ na amostra de voz cantada nas três tonalidades (261 Hz, 622 Hz e 932 Hz), assim como os valores dos respectivos formantes (cinco primeiros formantes no canto).

Para extração das medidas foram consideradas a seleção da emissão estável na prancha espectrográfica e a identificação de marcação de pulso na onda sonora (Barbosa e Madureira, 2015).

Na extração dos valores de (f_0) foi considerada a abertura de janela espectrográfica para identificação do *pitch* no intervalo de 75 a 1000 Hz e escala para formantes F1, F2, F3, F4 e F5 de 0 a 5000 Hz.

Os parâmetros de *maximum formant* (Boersma e Heuven, 2001) para extração de medidas foi de 5500 Hz, considerado adequado para vozes femininas. Na janela de configuração do *pitch* aumentou-se a extensão de análise de frequência fundamental principalmente para as tonalidades média e aguda, no intervalo de 180 Hz a 1000 Hz.

Para extração dos formantes F1, F2, F3 e F4 foi utilizada a janela em banda larga considerando os valores listados pelo próprio *software* Praat. A obtenção dos valores de F5 foi realizada a partir da seleção do pulso da onda sonora (Barbosa P e Madureira S, 2015). Foi realizada a confirmação manual das medidas de frequência fundamental e formantes por meio da análise de Fourier (FFT).

As figuras 1 a 12 apresentam exemplos do procedimento de extração numérica fornecida pelo *software* Praat nas frequências grave, média e aguda em banda larga e a confirmação manual por meio da análise de Fourier (FFT).

Extração de medidas em frequência grave de voz cantada em 261 Hz (Dó Central)

Figura 1 – Extração de f0 tonalidade grave

Figura 2 - Extração de formantes F1-F4 tonalidade grave

Figura 3 – Extração do formante F5 tonalidade grave

Figura 4 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade grave

A fim de verificar a presença de sintonia entre Formante e Harmônicos, considerou-se a sobreposição dos gráficos FFT e LPC.

Extração de medidas em frequência média de voz cantada em 622 Hz (Mi bemol 4)

Figura 5 - Extração f0 tonalidade média

Figura 6 - Extração de formantes F1- F4 tonalidade média

Figura 7 – Extração de formante F5 tonalidade média

Figura 8 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade média

Extração de medidas em frequência aguda de voz cantada em 932 Hz (Si bemol 4)

Figura 9 - Extração automática f0 tonalidade aguda

Figura 10 - Extração de formantes F1- F4 tonalidade aguda

Figura 11 - Extração do formante F5 tonalidade aguda

Figura 12 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade aguda

2) Diagrama do espectro FFT – obtido pela transformada rápida de Fourier (Kent e Read, 2015; Barbosa e Madureira, 2015).

Para obtenção do diagrama espectral em banda estreita o pulso de onda estável e as relações harmônicas foram selecionados até a faixa próxima de 5.000 Hz.

A sobreposição dos diagramas FFT com LPC foi realizada após a captura das duas imagens.

As figuras 13 a 21 apresentam exemplos dos procedimentos para obtenção do diagrama espectral FFT nas frequências grave, média e aguda.

Obtenção do diagrama espectral FFT em frequência grave de voz cantada em 261 Hz (Dó central)

Figura 13 - Seleção do pulso de onda na tonalidade grave

Figura 14 - Seleção da faixa do espectro tonalidade grave

Figura 15 - Diagrama do Espectro FFT na tonalidade grave

Obtenção do diagrama espectral FFT em frequência média de voz cantada em 622 Hz (Mi bemol 4)

Figura 16 - Seleção do pulso de onda na tonalidade média

Figura 17 - Seleção da faixa do espectro tonalidade média

Figura 18 - Diagrama do Espectro na tonalidade média

Obtenção do diagrama espectral FFT em frequência aguda de voz cantada em 932 Hz (Si bemol 4)

Figura 19 - Seleção do pulso de onda na tonalidade aguda

Figura 20 - Seleção da faixa do espectro tonalidade aguda

Figura 21 - Diagrama do Espectro na tonalidade aguda

3) Técnica LPC – *Linear Predictive Coding* (Kent e Read, 2015; Barbosa e Madureira, 2015).

Para geração das curvas de LPC em banda estreita as amostras foram convertidas de 44.100 Hz para 10.000 Hz visando garantir a nitidez do traçado. O número de picos necessários para visualização dos formantes foi selecionado após a opção *LPC Smoothing*, com a realização de desenho do traçado (Barbosa e Madureira, 2015). O mesmo procedimento foi realizado para as tonalidades grave, média e aguda.

A sobreposição dos diagramas FFT com LPC foi realizada após a captura das duas imagens.

As figuras 22 a 27 apresentam exemplos dos procedimentos para

geração das curvas de LPC em frequência grave.

Conversão da taxa de amostragem para obtenção da curva LPC

Figura 22 - Conversão de Taxa de Amostragem

Figura 23 - Seleção do pulso da onda sonora após conversão de amostragem

Figura 24 - Seleção comando LPC

Figura 25 - Seleção do número de picos de formantes

Figura 26 - Comando para desenho a Curva LPC

Figura 27 - Desenho Curva LPC *Smoothing*

- 4) Diagrama do trato vocal – é definido pela aproximação matemática pelos cinco primeiros formantes realizada pelo Praat para representar graficamente as mudanças que ocorrem no trato vocal durante a emissão da vogal /a/ (Stevens e Keyser, 2010; Kent e Read, 2015).

Para esse estudo o Diagrama do trato vocal foi utilizado na comparação com os achados do Diagrama espectral FFT e da Curva LPC (Titze, 1994; Kent e Read, 2015; Barbosa e Madureira, 2015; Fraile, Godino-Llorente e Malte, 2015).

Após a obtenção das frequências convertidas para 10.000Hz, referida no item anterior, foi selecionado novamente o pulso da onda de maior estabilidade e, por meio da janela de objetos, foi solicitada a função LPC de auto correlação, para então se extrair o segmento do trato vocal e desenhar o diagrama. O mesmo procedimento foi realizado em cada uma das emissões (grave, média e aguda). **Foram considerados para fins de exemplos diagramas individuais e não pela média do grupo de sopranos.**

As figuras 28 a 32 ilustram os procedimentos para obtenção do referido diagrama.

Conversão da taxa de amostragem para obtenção do Diagrama do Trato Vocal

Figura 28 - Conversão da taxa de amostragem

Figura 29 - Análise do espectro pelo LPC de autocorrelação

Figura 30 - Parâmetros adotados para o LPC de autocorrelação

Figura 31 - Conversão LPC para segmento do Trato Vocal

Figura 32 - Diagrama do Trato Vocal

4.4- Análises dos dados

As extrações das medidas de f_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5 foram submetidas à análise estatística descritiva, para obtenção de medidas de tendência central (mínimo, média, máximo, mediana e desvio padrão), e análise inferencial por meio dos seguintes testes: Shapiro-Wilks para verificar o padrão de normalidade do estudo e, teste de Friedman para comparação entre as médias das medidas extraídas nas três tonalidades. O programa estatístico utilizado foi *SPSS for Windows* versão 19.0.0. Em todas as análises utilizou-se um nível de significância de 5%.

Após as criações do Diagrama espectral FFT e da curva LPC a partir da média de cada uma das frequências estudadas foram realizadas análises qualitativas e visuais acerca das modificações em cada uma das tonalidades durante a emissão. Para essa análise, considerou-se a apresentação das curvas LPC e a sobreposição da mesma ao Diagrama espectral FFT. Foi observada a distribuição de harmônicos e formantes, a presença de possíveis picos que mostrassem o aumento dos formantes, bem como possíveis aproximações entre eles. Além disso, verificou-se na análise da sobreposição a presença de possível sintonia entre f_0 e H_1 , H_2 e F_2 , H_3 e F_3 , H_4 e F_4 e H_5 e F_5 .

Por meio do Diagrama do trato vocal ilustrou-se artificialmente o formato do trato vocal durante a emissão nas tonalidades grave, média e aguda, bem como as variações de expansão e constrição nas regiões faríngea, véu, dorso e ponta de língua, abertura mandibular (dentes) e lábios. Para esse estudo o Diagrama do trato vocal foi apresentado como um instrumento auxiliar para a comparação com os achados do Diagrama espectral FFT e da Curva LPC, nas três tonalidades. Para fins de ilustração, o diagrama do trato vocal foi apresentado por meio de exemplos individuais tanto no resultado quanto no apêndice, já que não seria fidedigno apresentar os diagramas pelas médias das medidas acústicas do grupo de sopranos estudado.

5 – RESULTADOS

Das 30 sopranos participantes foram analisadas 90 amostras de emissão das três tonalidades estudadas.

Na descrição de medidas de tendência central das mensurações de f0 e formantes, observou-se valores de F1 maiores que f0 nas médias das emissões grave e média; e na emissão aguda houve equiparação entre valores de f0 e F1, confirmadas pela análise estatística comparativa (Tabela 1 e Figuras 33 a 35).

Tabela 1 – Descrição de medidas de tendência central das mensurações de f0 e formantes em cada tonalidade e as respectivas comparações

		f0	F1	F2	F3	F4	F5	Teste de Friedman (p)	Resultado
Grave 261 Hz	Média	260,5	800,2	1337,4	2976,1	3634,1	4250,3	<0,001*	f0 < F1 < F2 < F3 < F4 < F5
	Mediana	260,4	811,8	1314,1	2961,5	3629,9	4243,6		
	desvio-padrão	3,2	28,1	121,3	265,5	323,6	232,1		
Média 622 Hz	Média	621,5	684,4	1301,8	2891,2	3564,0	4308,9	<0,001*	f0 < F1 < F2 < F3 < F4 < F5
	Mediana	622,4	664,4	1284,0	3024,0	3671,6	4251,6		
	desvio-padrão	10,5	71,3	45,9	267,2	241,9	383,7		
Aguda 932 Hz	Média	935,8	929,3	1599,6	2778,4	3703,8	4675,4	<0,001*	f0 = F1 < F2 < F3 < F4 < F5
	Mediana	932,4	917,6	1732,1	2824,2	3759,0	4655,5		
	desvio-padrão	19,1	38,3	321,7	184,0	237,9	173,3

Figura 33 – Valores mínimos, médios e máximos de f0 e dos formantes na emissão da vogal /a/ em tonalidade grave

Figura 34 - Valores mínimos, médios e máximos de f0 e dos formantes na emissão da vogal /a/ em tonalidade média

Figura 35 - Valores mínimo, médio e máximo de f0 e formantes tonalidade aguda

Pela Curva LPC e pela sobreposição da mesma ao diagrama espectral FFT observou-se a aproximação dos dois primeiros formantes, F1 e F2, na tonalidade grave. Na tonalidade média houve aproximação entre F1 e F2, entre F3 e F4 e pico em F5. Na tonalidade aguda observou-se aumento de todos os formantes, em relação as tonalidades grave e média, bem como aproximação entre eles. Na sobreposição da curva LPC ao diagrama espectral FFT, na tonalidade aguda, observa-se nitidamente sintonia entre f0 e F1, H2 e F2, H3 e F3, H4 e F4, e H5 e F5 (Figuras 36 a 38).

Figura 36 – Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade grave

Figura 37 - Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade média

Figura 38 - Sobreposição da curva LPC ao Diagrama espectral FFT na tonalidade aguda

Quanto aos Diagramas do Trato Vocal os exemplos demonstrados (figuras 39 a 41) são de uma das participantes da pesquisa na emissão da vogal sustentada cantada /a/. No apêndice (figuras 44 a 46) exemplificamos as configurações com maior abertura de boca na tonalidade média e aguda.

Figura 39 – Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade grave de uma das sopranos

Figura 40 - Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade média de uma das sopranos

Figura 41 - Exemplo de Diagrama do trato vocal na tonalidade aguda de uma das sopranos

6 – DISCUSSÃO

Este estudo, ao descrever e analisar a frequência fundamental e formantes em três tonalidades – grave, média e aguda – em sopranos, considerou o número amostral de 30 cantoras, totalizando 90 amostras analisadas. Os números amostrais descritos na literatura, sejam eles a totalidade de sopranos ou em conjunto com outros cantores variou de quatro a 27 participantes. (Newman et al., 1991; Brown et al., 1993; Weiss et al., 2001; Barnes et al., 2004; Jacobs et al., 2004; Lee et al., 2008; Echternach et al., 2010; Yan et al., 2013; Duvvuru S e Erickson M., 2016).

A maioria dos estudos sobre o canto lírico mostrou predomínio de pesquisas que englobaram análise acústica com a população masculina (Titze IR, Mapes S e Story B, 1994; Neumann K et al., 2005; Bozeman K, 2013; Sunberg J, Lã M e Gill P, 2016). Na literatura observa-se que, além do limitado número de estudos com sopranos, quando pesquisadas as medidas de frequência de formantes, a maioria se ateve a F1 e F2 (Barnes et al., 2004; Echternach et al., 2008). Weiss et al. (2001) e Lee et al. (2008) descreveram as frequências até o quarto e quinto formantes; contudo, nesses estudos foram utilizadas técnicas de análise espectral e LTAS com *softwares* diferentes. Outro aspecto que merece destaque diz respeito às amostras de emissão que se diferenciaram entre os estudos selecionados, fato que limita a comparação com os achados desta pesquisa.

Entre os artigos pesquisados observaram-se variações, não só no número de formantes e nas emissões consideradas nas análises, como também em relação à definição da frequência de cada tonalidade. Barnes et al. (2004) analisaram os dois primeiros formantes e selecionaram como frequência de tonalidade média 685 Hz, e seus resultados mostraram pequenas diferenças em relação aos achados desta pesquisa que considerou, para essa tonalidade, 622 Hz. A opção pelas frequências selecionadas nesse estudo está fundamentada em Weiss et al. (2001).

As sopranos participantes referiram de cinco a 20 anos de estudo, com média de 7,6 anos. Entretanto, Loiola-Barreiro e Andrada e Silva (2016) analisaram o índice de desvantagem vocal em 132 cantores profissionais, 74 populares e 58 eruditos, com 22 sopranos e nos cantores eruditos não houve influência do tempo de atuação profissional nos escores do IDCC (Índice de Desvantagem no Canto Clássico).

Na descrição e análise das médias de frequência fundamental e de formantes observou-se aumento progressivo desde f0 até F5 nas tonalidades grave e média,

exceto na aguda, na qual F1 se equiparou à f0. Outros estudos tiveram resultados semelhantes, fato que reforça a especificidade da emissão de voz cantada em sopranos, identificada por meio da análise acústica (Barnes et al., 2004; Weiss et al., 2001 e Lee et al. 2008; Yan et al., 2013; Duvvuru e Erickson, 2015).

Em outra pesquisa foram extraídas as medidas das vogais cantadas do segmento da canção *“Happy Birthday to you”* e os três primeiros formantes analisados também apresentaram progressão; e, da mesma forma, os formantes avaliados em sopranos foram mais altos quando comparados às outras classificações vocais (Yan et al., 2013).

Lee et al. (2008) sugeriram que a frequência fundamental em sopranos possui mais energia na fala e no canto do que em não cantoras. Weiss et al. (2001) e Lee et al. (2008) observaram, respectivamente, pela espectrografia e pelo LTAS, na tonalidade aguda, que tanto a frequência fundamental quanto os harmônicos adjacentes foram reforçados em regiões acima de 5kHz. Escamez et al. (2017) verificaram reforço nas frequências entre 2,5 e 3,5 kHz em sopranos, por meio do espectro de longo termo.

Na tonalidade grave os valores dos cinco primeiros formantes foram maiores que f0. Com a sobreposição dos gráficos LPC e FFT foi possível notar a aproximação de F1 e F2 e um aglomerado de harmônicos na região de F3, F4 e F5. Esses achados corroboram o estudo de Duvvuru e Erickson (2015). Outro estudo relaciona a frequência de 261 Hz com ganho de energia na região de F3 e F4 e qualidade vocal metálica (Hanayama et al. 2004).

As possíveis justificativas fisiológicas desta configuração ocorrem devido ao abaixamento laríngeo, posicionamento mandibular e interação do corpo de língua na região grave. Dessa forma, espera-se menor abertura de cavidade mandibular e constrição de língua (Sundberg, 1997; Weiss et al., 2001; Erickson 2003; Echternach, 2008). **Pelo diagrama do trato vocal nessa tonalidade em cada soprano, a configuração é demonstrada com expansão e constrição em segmentos do tubo e pouca abertura de boca/dentes.**

Na tonalidade média os valores dos formantes foram maiores do que f0, contudo, pode-se observar pela sobreposição dos gráficos LPC e FFT a aproximação entre F1 e F2, entre F3 e F4, pico em F5 e sintonia de harmônicos.

Barnes et al. (2004) referiram que a aproximação entre F1 e F2 favorece o reforço sonoro nessa tonalidade. Relações semelhantes foram observadas na

aproximação de F3 e F4 e pico em F5 e encontraram respaldo no estudo de Titze e Story (1997) que apontou presença de formantes mais altos como consequência fisiológica do estreitamento epilaríngio com diminuição do espaço faríngeo e influência do mecanismo de vibração das pregas vocais.

Outro fator que pode explicar esse comportamento vocal é a necessidade de ajustar o ganho da amplitude da frequência fundamental fazendo com que os formantes aumentem devido ao efeito de ressonância, resultando em ganho de audibilidade final (Fant, 1960, Lindblom e Sundberg, 1971, Vieira, 2004). Weiss et al. (2001) observaram, nessa tonalidade média, maior definição do espectro harmônico. Barnes et al. (2004) realizaram extração próxima a este estudo e encontraram aumento de energia dos harmônicos em conjunto aos formantes.

Tanto Weiss et al (2001) quanto Barnes et al. (2004) justificam esse ajuste devido ao abaixamento laríngeo e às modificações na altura da língua e abertura de mandíbula. Em nossos achados o aumento de F1 nessa tonalidade, em comparação com a tonalidade grave, pode ser observado pelo diagrama do trato vocal com maior abertura de boca/dentes; já as constrições observadas no tubo sugerem relação com as modificações dos demais formantes. Esses resultados são reforçados ao se associar a sobreposição dos gráficos LPC e FFT e **o exemplo do** diagrama do trato vocal.

Em contrapartida, Vos et al. (2017), em uma frequência média similar (671 Hz), com vozes sintetizadas de sopranos não encontraram claramente a relação dos formantes F1, F2 e F3.

A presença de aglomerado entre F3 e F5 nas tonalidades grave e média está de acordo com Weiss et al. (2001) em cujo estudo encontraram reforço harmônico mais amplo nessas tonalidades. Esse achado corrobora os autores na ideia de inexistência clara de “formante do cantor” em mulheres sopranos tendo por base o conceito e termo cunhados por Bartolomeu (1934).

Na tonalidade aguda observou-se aumento de todas as frequências dos formantes, bem como a aproximação entre eles, e sintonia entre f0 e F1, H2 e F2, H3 e F3, H4 e F4, e H5 e F5. O resultado acústico de equiparação do primeiro formante com a frequência fundamental repercute na interação de amplitude com os demais formantes e aponta para o fenômeno de irradiação do trato vocal (Fant, 1960, Sundberg 1975, Sundberg e Skoog, 1997, Sundberg, 2009). Tal ajuste em sopranos é justificado nessa tonalidade pela maior abertura de mandíbula e lábios

(Sundberg e Skoog, 1997; Sundberg, 2009). **Esse achado corrobora com que foi ilustrado pelo diagrama do trato vocal.**

Os resultados observados estão respaldados por publicações anteriores nas quais os autores analisaram parte dos formantes contemplados nesse estudo. Aqueles que consideraram até os dois primeiros formantes na mesma tonalidade também mencionaram aumento e sintonia entre primeiro formante e frequência fundamental (Rossing et al., 1986; Sundberg e Skoog, 1997; Sundberg, 2009; Echternach et al., 2008; Garnier et al., 2009; Henrich et al., 2010). Outros artigos afirmaram haver perda da inteligibilidade da vogal na tentativa de manter F1 maior que a frequência fundamental na tonalidade aguda (Hollien et al., 2000; Deme, 2014). Já o estudo que citou o aumento do terceiro e quarto formantes referiu maior acurácia da sensação perceptiva e acústica em agudos (Erickson, 2003).

Os resultados encontrados nas três tonalidades reforçam o fato de que quanto maior a amplitude das curvas LPC e FFT, principalmente na relação de f_0 -F1 e o aumento progressivo das medidas de f_0 e formantes, as sopranos tiveram projeção vocal aumentada. Nesse sentido, considerar em futuras pesquisas *loudness* e declínio espectral poderá contribuir com dados adicionais na análise de sopranos.

Vale destacar ainda que existem poucos estudos na literatura sobre o diagrama do trato vocal na voz cantada. Titze e Worley (2009), ao estudarem cantores líricos ocidentais do sexo masculino, por meio das vogais /a/ e /æ/, compararam o posicionamento neutro, megafone invertido estreito e megafone invertido largo, e suas modificações durante a ascensão da escala musical com distanciamento ou aproximação de F1 e F2. Com isso, demonstraram que com o aumento/diminuição da tonalidade foram encontradas modificações no trato vocal com relação à abertura de boca, o corpo de língua e expansão faríngea. Especificamente em relação à vogal /a/, a mesma considerada nesse estudo, observaram valores mais altos de F1 no megafone invertido largo nas frequências de 110 Hz, 220 Hz, 440 Hz, 880 Hz e 1760 Hz em relação aos demais tubos. Comportamento semelhante foi observado pelos diagramas do trato vocal das sopranos estudadas. Garnier et al. (2010) observaram igualmente a maior abertura de boca na amplitude dos formantes em sopranos por meio do diagrama do trato vocal na tonalidade aguda.

Delvaux e Howard (2014) exploraram um novo método de mensurar o impacto espectral na faringe durante a voz cantada; o estudo tridimensional com cantores incluindo uma mezzosoprano apontou as modificações dos cinco primeiros formantes e suas relações com a expansão do seio piriforme. Ainda que o diagrama do tubo do trato vocal contribua para a ilustração das modificações durante a emissão essa perspectiva de analisar tais ajustes no canto em três dimensões poderá aprofundar a compreensão das modificações de expansão e constrição do tubo e deverá ser considerada em pesquisas futuras.

A flexibilização do trato vocal como um tubo capaz de realizar expansões e constrições pode ser ilustrada pelo diagrama do trato vocal associado às medidas extraídas de frequência fundamental e formantes, ao diagrama espectral FFT e à curva LPC. A complementaridade desses recursos acústicos favorece a compreensão dos ajustes realizados durante o canto lírico. Além disso, podem ser utilizados na pedagogia vocal, bem como no processo de aprimoramento e/ou reabilitação vocal.

Ressalta-se mais uma vez que os Diagramas do trato vocal foram considerados nesse estudo a partir da análise dos dados acústicos de cada soprano, por meio de exemplos e não pela média das medidas acústicas em cada uma das tonalidades, haja vista a grande variedade possível de indivíduo para indivíduo.

Ao considerar a multidimensionalidade do canto, situa-se a análise acústica como um recorte das possibilidades vocais num dado momento, já que a performance no canto pressupõe relações entre signos posturais e vocais (Mello et al., 2015). Professores de canto consideraram relevantes para o desenvolvimento da projeção vocal cinco categorias: corpo, respiração, percepção/propriocepção, imagem corporal e emissão de voz (Sousa et al, 2015).

Uma possível limitação do estudo diz respeito à ausência de teste de confiabilidade das medidas extraídas e sua reprodutibilidade; além disso, cabe destacar que a calibração de cada participante quanto às diferentes intensidades da emissão ampliaria a análise com maior fidedignidade. Esses aspectos deverão ser considerados nos estudos futuros.

Esta pesquisa corrobora dados da literatura em relação às particularidades acústicas de sopranos. Adicionalmente, os achados sinalizam que os métodos empregados nesse estudo podem ser utilizados como auxiliares clínico e pedagógico no acompanhamento dessas cantoras.

7- CONCLUSÃO

Na amostra estudada foi possível concluir que a emissão da vogal /a/ na variação tonal por sopranos identificou modificações específicas do trato vocal.

Na tonalidade grave os valores dos cinco primeiros formantes foram maiores que f_0 ; a sobreposição dos gráficos LPC e FFT mostrou aproximação de F1 e F2 e um aglomerado de harmônicos na região de F3, F4 e F5.

Na tonalidade média os valores dos formantes foram maiores do que f_0 e pela sobreposição dos gráficos LPC e FFT houve aproximação entre F1 e F2, entre F3 e F4, pico em F5 e sintonia de harmônicos.

Na tonalidade aguda observou-se aumento de todos os formantes e equiparação de f_0 e F1. A sobreposição dos gráficos LPC e FFT apontou aproximação e sintonia entre f_0 e F1, H2 e F2, H3 e F3, H4 e F4, e H5 e F5.

O Diagrama do trato vocal quando analisado individualmente nas três tonalidades ilustrou constrições e expansões compatíveis com as medidas acústicas analisadas.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atal BS & Hanauer SL. Speech analysis and synthesis by linear prediction of the speech wave. The Journal of the Acoustical Society of America. 1971; 50(2B): 637-655.

Barbosa P & Madureira S. Manual de fonética acústica experimental aplicações a dados do português. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; 2015. p. 53-104 e 146-187.

Barnes JJ, Davis P, Oates J, Chapman J. The relationship between professional operatic soprano voice and high range spectral energy. The Journal of the Acoustical Society of America. 2004; 116(1): 530-538.

Behlau M. Voz - O Livro do especialista. São Paulo: Revinter; 2001. p.157-171.

Boersma P & Weenink D. Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.37 [retrieved 2018]: <http://www.praat.org/>

Boersma P & Van Heuven V. Speak and unSpeak with PRAAT. Glot International. 2001; 5(9/10): 341-347.

Brown WS, Morris RJ, Hicks DM, Howell E. Phonational profiles of female professional singers and nonsingers. Journal of Voice. 1993; 7(3): 219-226.

Butte CJ, Zhang Y, Song H, Jiang JJ. Perturbation and nonlinear dynamic analysis of different singing styles. Journal of Voice. 2009; 23(6): 647-52.

Callan DE, Tsytsarev V, Hanakawa T, Callan AM, Katsuhara M, Fukuyama H, Turner R. Song and speech: brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage*. 2006; 31(3): 1327-1342.

Carlson G & Sundberg J. Formant frequency tuning in singing. *Journal of Voice*. 1992; 6(3): 256-260.

Cordeiro GF, Pinho SMR, Camargo ZA. Formante do cantor- um enfoque fisiológico. In: Pinho, SMR. *Temas em voz profissional*. São Paulo: Revinter: 2007; 23-30.

Deme A. Intelligibility of sung vowels: The effect of consonantal context and the onset of voicing. *Journal of Voice*. 2014; 28(4): 523-e19.

Diaz JA & Rothman HB. Acoustical comparison between samples of good and poor vibrato in singers. *Journal of Voice*. 2003; 17(2): 179-184.

Dinville C. *Técnica da Voz Cantada*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Enelivros; 2008; p.28-50.

Dmitriev L & Kiselev A. Relationship between the formant structure of different types of singing voices and the dimensions of supraglottic cavities. *Folia Phoniatria et Logopaedica*. 1979; 31(4): 238-241.

Dromrey C, Heaton E, Hopkin J. The Acoustic Effects of Vowel Equalization Training in Singers. *Journal of Voice*. 2011; 25(6): 678-682.

Duvvuru S, Erickson M. The Effect of Timbre, Pitch, and Vibrato on Vocal Pitch-Matching Accuracy. *Journal of Voice*. 2016; 30(3): 378-393.

Echternach M, Sundberg J, Arndt S, Markl M, Schumacher M, Richter B. Vocal tract in female registers—a dynamic real-time MRI study. *Journal of Voice*. 2010; 24(2): 133-139.

Ekholm E, Papagiannis GC, Chagnon FP. Relating objective measurements to expert evaluation of voice quality in western classical singing: Critical perceptual parameters. *Journal of Voice*. 1998; 12(2):182-96.

Fant G. Acoustic theory of speech production: with calculations based on X-ray studies of Russian articulations. 1 ed. vol. 2; Berlin: Walter de Gruyter; 1971.

Fant G. Acoustic theory of speech production's-Gravenhage. Berlin: Mouton and Co; 1960. p.15-27.

Flanagan L. Some properties of the glottal sound source. *J of Speech, Language, and Hearing Research*. 1958; 1: 99-116.

Flanagan L. Speech analysis synthesis and perception. 2^aed. vol. 3; Berlin: Springer Science & Business Media. 2013; p 23-45.

Fraile R, Godino-Llorente JI, Malte K. Simulation of tremulous voices using a biomechanical model. *Journal on Audio, Speech, and Music Processing EURASIP*. 2015; (1): 1.

Garcia M. Observations on the human voice. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1854; 7(1): 399-410.

Gusmão C, Campos P, Maia M. O formante do cantor e os ajustes laríngeos utilizados para realizá-lo: uma revisão descritiva. *Per Musi*. 2010; 21: 43-50.

Hollien H, Mendes-Schwartz AP, Nielsen K. Perceptual confusions of high pitched sung vowel. *Journal Voice*. 2000; 14(2): 287-298.

Howard DM. The Vocal Tract Organ: A New Musical Instrument Using 3-D Printed Vocal Tracts. 2017. *Journal of Voice*. 2018; 32(6): 660-667.

Jacobs MA, Kenny DT. Effects of topical anesthetic and flexible fiberoptic laryngoscopy on professional sopranos. *Journal of Voice*. 2005; 19(4): 645-664.

Joliveau E, Smith J, Wolfe, J. Vocal tract resonances in singing: The soprano voice. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2004; 116(4): 2434-2439.

Kent D, Charles R, Ray K. *Análise acústica da fala*. 1ed. São Paulo: Cortez; 2015; p.146-178 e 39-223.

Lee SH, Kwon HJ, Choi HJ, Lee NH, Lee SJ, Jin SM. The singer's formant and speaker's ring resonance: a long-term average spectrum analysis. *Clinical and experimental otorhinolaryngology*. 2008; 1(2): 92-96.

Loiola-Barreiro CM & Silva MAA. Vocal handicap index in popular and erudite professional singers. *CoDAS*. 2016; 28 (5): 602-609.

Mello EL, Ballesterio LRB, Silva, MAA. Postura corporal, voz e autoimagem em cantores líricos. *Per musi*. 2015; 1 (31): 74-85.

Milenkovic PH. Voice source model for continuous control of pitch period. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1993; 93(2): 1087-1096.

Miller DG, Sulter AM, Schutte HK, Wolf RF. Comparison of vocal tract formants in singing and nonperiodic phonation. *Journal of Voice*. 1997; 11(1): 1-11.

Miller DG, & Schutte HK. Physical definition of the “flageolet register”. *Journal of Voice*. 1993; 7(3): 206-212.

Morris RJ, Okerlund DA, Craven EA. First passaggio transition gestures in classically trained female singers. *Journal of Voice*. 2016; 30(3): 377-e21.

Neumann K, Schunda P, Hoth S, Euler HA. The interplay between glottis and vocal tract during the male passaggio. *Folia Phoniatr Logop*. 2005; 57: 308–327.

Newman RA, Emanuel FW. Pitch effects on vowel roughness and spectral noise for subjects in four musical voice classifications. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.1991; 34(4): 753-760.

Roubeau B, Henrich N, Castellengo M. Laryngeal vibratory mechanisms: The notion of vocal register revisited. *Journal of Voice*. 2009; 23(4): 425-438.

Sapir S & Larson KK. Supralaryngeal muscle activity during sustained vibrato in four sopranos: surface EMG findings. *Journal of Voice*. 1993; 7(3): 213-218.

Seidner W, Schutte H, Wendler J, Rauhut, A. Dependence of the high singing formant on pitch and vowel in different voice types. In SMAC 83, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference. 1983; (1): 261-268.

Stevens KN & Keyser SJ. Quantal theory, enhancement and overlap. *Journal of Phonetics*. 2010; 38(1): 10-19.

Sousa NB, Mello EL, Ferreira LP, Silva MAA. Projeção vocal na opinião de professores de canto lírico. *Distúrbios da Comunicação*.2015; 27(3): 520-529.

Sundberg J, Lã FM, Gill BP. Professional male singers' formant tuning strategies for the vowel /a/. *Logopedics Phoniatrics Vocology*. 2011; 36(4): 156-167.

Sundberg J & Skoog J. Dependence of jaw opening on pitch and vowel in singers. *Journal of Voice*.1997; 11(3): 301-306.

Sundberg J. Articulatory configuration and pitch in a classically trained soprano singer. *Journal of Voice*. 2009; 23(5): 546-551.

Sundberg J. Articulatory interpretation of the singing formant. *The Journal of the Acoustical Society of America*.1974; 55(4): 838-844.

Sundberg J. Ciência da Voz: Fatos sobre a Voz na Fala e no Canto. trad Gláucia Laís Salomão. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; 2015; p. 44-174.

Sundberg J. What's so special about singers? Journal of Voice. 1990; 4(2): 107-119.

Titze I, Baken R, Herzel H. Evidence of chaos in vocal fold vibration. In: Titze IR. (Org). Vocal Fold Physiology. Frontiers in Basic Science. San Diego: Singular Publishing Group; 1993; p.143-188.

Titze I. The importance of vocal tract loading in maintaining vocal fold oscillation. 1983 In Proceedings from the Stockholm Musical Acoustics Conference.

Titze IR & Liang H. Comparison of f0 extraction methods for high-precision voice perturbation measurements. Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 1993; 36(6): 1120-1133.

Titze IR & Worley AS. Modeling source-filter interaction in belting and high-pitched operatic male singing. The Journal of the Acoustical Society of America. 2009; 126(3): 1530-1540.

Titze IR, Mapes S, Story B. Acoustics of the tenor high voice. The Journal of the Acoustical Society of America. 1994; 95(2): 1133-1142.

Viegas F, Viegas D, Baeck HE. Frequency measurement of vowel formants produced by Brazilian children aged between 4 and 8 years. Journal of Voice. 2015; 29(3): 292-298.

Vieira MN. Uma introdução à acústica da voz cantada. In: I Seminário Música, Ciência e Tecnologia. 2004, São Paulo. AcMUS – I Seminário Música, Ciência e Tecnologia. 2004; 1: 70-79.

Vos RR, Murphy DT, Howard DM, Daffern H. The Perception of Formant Tuning in Soprano Voices. *Journal of Voice*. 2018; 32(1): 126-e1-126e10.

Weiss R, Brown R, Moris J. Singer's formant in sopranos: fact or fiction? *Journal of Voice*. 2001; 15(4): 457-468.

Whalen H. Three lines of evidence for direct links between production and perception in speech. San Diego: Proceedings of the XIVth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS 99). vol.2.1999.

Yan N, Ng ML, Man MK, To TH. Vocal tract dimensional characteristics of professional male and female singers with different types of singing voices. *International journal of speech-language pathology*.2013;15(5): 484-491.

Zampieri SA, Behlau M, Brasil Osiris OC. Análise de cantores de baile em estilo de canto popular e lírico: perceptivo-auditiva, acústica e da configuração laríngea. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2002; 68 (3): 378-386.

9- ANEXOS

Anexo A – Aprovação do Projeto – Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

APROVAÇÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 08/06/2016, APROVOU o Protocolo de Pesquisa nº 182/16 intitulado: "FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL DA VOZ E FREQUÊNCIA DOS FORMANTES DAS VOGAIS EM VOZES DE CANTORES LÍRICOS BRASILEIROS" apresentado pelo Departamento de FISIOTERAPIA, FONOAUDIOLOGIA E TERAPIA OCUPACIONAL.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466/12, inciso IX.2, letra "c").

Pesquisador (a) Responsável: Profa Dra Nair Katia Nemr

Pesquisador (a) Executante: Gláucia Verena Sampaio de Souza

CEP-FMUSP, 13 de Junho de 2016.

Profa. Dra. Maria Aparecida Azevedo Kolke Folgueira
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina
e-mail: cep.fm@usp.br

Anexo B – Termo de Consentimento Livre Esclarecido – TCLE

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DA PESQUISA

Título da pesquisa: Frequência fundamental da voz e frequência dos formantes das vogais em vozes de cantores líricos brasileiros

Pesquisador principal: Profa Dra Nair Katia Nemr

Departamento: Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar dessa pesquisa que tem como objetivo descrever os formantes na emissão de vogais de cantores líricos profissionais durante a fala e o canto.

Para isso será necessário a gravação da sua voz falada e cantada. A Sra. terá sua voz gravada com auxílio de microfone e Ipad. Será pedida a emissão das vogais sustentadas do português brasileiro, abertas e fechadas, em tom habitual com frequência e intensidade confortáveis e para as tarefas de voz cantada foi realizada emissão confortável para todas as classificações vocais, nas notas musicais descritas no estudo correspondente as vozes femininas e masculinas. Ressaltamos que não haverá riscos ou desconforto com gravação da voz.

Sua participação irá possibilitar que sejam investigadas as medidas de frequência fundamental e frequência dos formantes e isto trará melhor compreensão dos ajustes e dos mecanismos de articulação em relação à acústica dos formantes em cantores líricos poderá contribuir com o ensino, pesquisa e assistência, bem como auxiliar em estratégias que favoreçam o aprendizado e o treino desses cantores.

É garantida a liberdade da retirada de seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo sem qualquer prejuízo ao (a) senhor (a). As informações obtidas serão analisadas em conjunto com outros participantes, não sendo divulgada a identificação de nenhum participante.

Sua participação nesta pesquisa não envolve despesas pessoais e também

não há qualquer compensação financeira relacionada a esta participação.

Em qualquer etapa do estudo o (a) Sr. (a) terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é Profa Dra Nair Katia Nemr, que pode ser encontrada no endereço: Rua Cipotânea, 51 – Cidade Universitária, São Paulo, SP; telefone 11 30917455, email knemr@usp.br. Se houver a necessidade de alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (CEP-FMUSP): **Av. Dr. Arnaldo, 251 - Cerqueira César - São Paulo - SP -21º andar – sala 36- CEP: 01246-000** Tel: (11) 3893-4401/4407 E-mail: cep.fm@usp.br

CONSENTIMENTO

Fui suficientemente informada a respeito do estudo “Frequência fundamental da voz e frequência dos formantes das vogais em vozes de cantores líricos brasileiros”.

Eu discuti as informações acima com a pesquisadora responsável, Fga Glaucia Verena Sampaio de Souza ou com a orientadora do projeto Profª Dra Nair Kátia Nemr, sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim os objetivos, os procedimentos, os potenciais desconfortos e riscos e as garantias. Concordo voluntariamente em participar deste estudo, assino este termo de consentimento e recebo uma via rubricada pelo pesquisador.

Assinatura _____ do _____ Data ____/____/____
paciente/representante legal

Assinatura do responsável pelo
estudo

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE OU RESPONSÁVEL LEGAL

1.

NOME:

.....

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO: Nº:

COMPLEMENTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP:..... TELEFONE: DDD (.....)

2.

RESPONSÁVEL

LEGAL:

.....

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO: M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO: Nº:

COMPLEMENTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....)

—

Anexo C – Justificativa Cálculo Amostral

Para este desenho de estudo a amostra e variáveis estudadas, justifica-se pertinente o número de 30 sujeitos, conforme a literatura.

Júnior CAM. Questões em bioestatística: o tamanho da amostra. *Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais-Animais e Humanos Interdisciplinary Journal of Experimental Studies*. 2010: 1(1).

10- APÊNDICE – FOTOS DE EQUIPAMENTOS

Figura 42 – Equipamentos utilizados

Figura 43 – Exemplo de estante com regulagem de altura

Figura 44 – Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade grave em uma soprano

Figura 45 – Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade média em uma soprano

Figura 46 – Exemplo de variação diagrama do trato vocal na tonalidade aguda em uma soprano

Quadro 2 – Revisão Bibliográfica

Autores	Objetivos e Conclusões	n	Medidas extraídas região
Newman e Emanuel, 1991	Observar presença de rugosidade em diferentes emissões de F0. Não houve alteração de qualidade vocal nas F0 analisadas.	10	f0 voz cantada
Brown et al, 1993	Investigar modificações de F0 relacionada à idade em cantores e não-cantores. A F0 intergrupos foi similar, ambos declinaram na função vocal devido à idade.	21	f0 fala
Weiss et al, 2001	Investigar a existência de um mecanismo similar ao formante do cantor em sopranos. Identificaram um mecanismo de projeção maximizada na região de 3KHz e 8KHz.	10	f0 canto e F1, F2, F3, F4 e F5
Barnes et al, 2004	Estudar a relação de reforço espectral em sopranos e desempenho durante o canto. Observaram incremento de energia em regiões espectrais mais altas possivelmente pelo estreitamento epilaríngio.	6	f0 canto e F1, F2
Jacobs e Kenny, 2005	Analisar os efeitos do anestésico tópico durante o canto.	10	f0 canto

	As tarefas durante a anestesia da cavidade nasal e nasofaríngea não se alteraram.		
Lee et al, 2008	Estudar o pico espectral de ressonância na fala e canto em cantores de ópera. O canto de sopranos apresentou concentração de energia na região de 8-9KHz, e na fala em 3KHz.	7	f0 canto agudo F3, F4 , F5
Echternach et al, 2010	Investigar a transição de registros em sopranos pela ressonância. Houve diferenças nas transições de registros peito, modal e elevado, principalmente na abertura de lábios e mandíbula, que se relacionaram acusticamente com a estratégia de aumento de F1 em relação à f0 na tonalidade aguda.	4	f0 canto e F1
Yan et al, 2013	Investigar a relação da classificação vocal com o tamanho e volume do trato vocal. As sopranos apresentaram aumento dos três primeiros formantes e menor volume e comprimento do trato vocal quando comparadas às mezzosopranos.	27	F1, F2 e F3
Duvvuru e	Investigar o impacto de	12	f0 canto e F1, F2,

Erickson, 2016	vibrato do canto na afinação por meio de estímulos sintetizados. Não houve diferença na afinação independente do vibrato apresentado em diferentes cantores.		F3 e F4
----------------	--	--	---------