

## Análise da configuração glótica e supraglótica e dados acústicos no canto do contratenor

**Tiago Lima Bicalho Cruz**

<https://orcid.org/0000-0002-8355-5436>

Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música

[tiagolbc@gmail.com](mailto:tiagolbc@gmail.com)

**Maurício Alves Loureiro**

<https://orcid.org/0000-0002-2495-5915>

Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música

[mauricio.alves.loureiro@gmail.com](mailto:mauricio.alves.loureiro@gmail.com)

SCIENTIFIC ARTICLE

Submitted date: 22 oct 2020

Final approval date: 23 mar 2021

**Resumo:** Cantores realizam diferentes adaptações vocais para cantar tanto música lírica quanto popular. O mecanismo M1 (registro modal) é predominante, mas uma pequena parcela utiliza o mecanismo M2 (registro falsete). No canto lírico são os contratenores que fazem essa emissão vocal peculiar. O presente estudo analisou através de fibronasolaringoscopia, ajustes glóticos e supraglóticos realizados por contratenores, além da presença e do nível do formante do cantor. As tarefas (dois saltos intervalares - sexta menor e quarta justa – e um *crescendo* em nota sustentada) foram extraídos de uma ária de Georg Friedrich Haendel. No *crescendo* observou-se abaixamento de laringe e alargamento faríngeo; constrictões faríngeas e elevação laríngea foram observadas em ambas as execuções dos saltos; não foi detectado nenhuma fenda glótica ou escape de ar. O formante do cantor foi identificado em todos os sujeitos. Contratenores profissionais tiveram melhor desempenho do que os não profissionais por apresentar em maior nível de amplitude o formante do cantor e ajustes supralaríngeos que favorecem a emissão vocal com menores constrictões e maior abaixamento de laringe, portanto compatíveis com uma melhor emissão vocal.

**Palavras-chave:** Contratenores; Voz, Canto, Ajustes laríngeos; Formante do Cantor

### ANALYSIS OF THE GLOTTAL AND SUPRAGLOTTAL CONFIGURATION AND ACOUSTIC DATA IN COUNTERTENOR SINGING

**Abstract:** Singers perform different vocal adaptations to sing both lyrical and popular music. The mechanism M1 (modal register) is predominant, but a small portion uses the mechanism M2 (falsetto register). In the lyrical singing, it is the countertenor who makes this peculiar vocal emission. The present study analyzed through nasofiberscopic, glottic, and supraglottic adjustments performed by countertenors, as well as the presence and level of the singer's formant. The tasks (two interval leaps - a minor sixth and a perfect fourth – and a *crescendo* in sustained note) were taken from an aria by Georg Friedrich Haendel. During the *crescendo*, a lowering of the larynx and pharyngeal widening were observed; pharyngeal constrictions and laryngeal elevation were observed in both leaps executions; no glottal chink or air leak were detected. Singer's formant was identified on all subjects. Professional countertenors performed better than non-professional because they had a higher level of singer's formant and, supralaryngeal adjustments that favor vocal emission with less constrictions and a higher degree of larynx lowering, therefore compatible with better vocal emission.

**Keywords:** Countertenors; Voice; Singing; Laryngeal adjustments; Singer's Form



# Análise da configuração glótica e supraglótica e dados acústicos no canto do contratenor

Tiago Cruz, Universidade Federal de Minas Gerais, [tiagolbc@gmail.com](mailto:tiagolbc@gmail.com)

Maurício Loureiro, Universidade Federal de Minas Gerais, [mauricio.alves.loureiro@gmail.com](mailto:mauricio.alves.loureiro@gmail.com)

## 1. Introdução

A voz é produzida na laringe, que é um órgão do corpo humano responsável por outras funções como respiração e deglutição. Nela estão situadas as pregas vocais (glote), cuja vibração produz sons que são definidos pelo termo fonação. Para gerar a voz é necessário que o ar que sai dos pulmões entre em contato com a superfície inferior das pregas vocais fechadas (aduzidas) criando uma pressão de ar (pressão subglótica) que se intensifica a ponto de ser maior do que a força de fechamento das pregas vocais, iniciando assim, um movimento de abertura. À medida que as pregas vocais se abrem e o ar passa entre elas (fluxo aéreo), cria-se uma pressão negativa no espaço entre as duas, que são "sugadas", novamente se fechando e assim, inicia-se um novo ciclo. O movimento de abertura e fechamento das pregas vocais pela passagem do ar é que gera o som vocal. Esse som pode ser modulado pelo tensionamento (encurtamento e alongamento) das pregas vocais e assim gerar diferentes notas musicais. A Figura 01 mostra o posicionamento da laringe no pescoço, uma representação das pregas vocais e músculos e um esquema da direção do fluxo de ar ao passar pela glote.

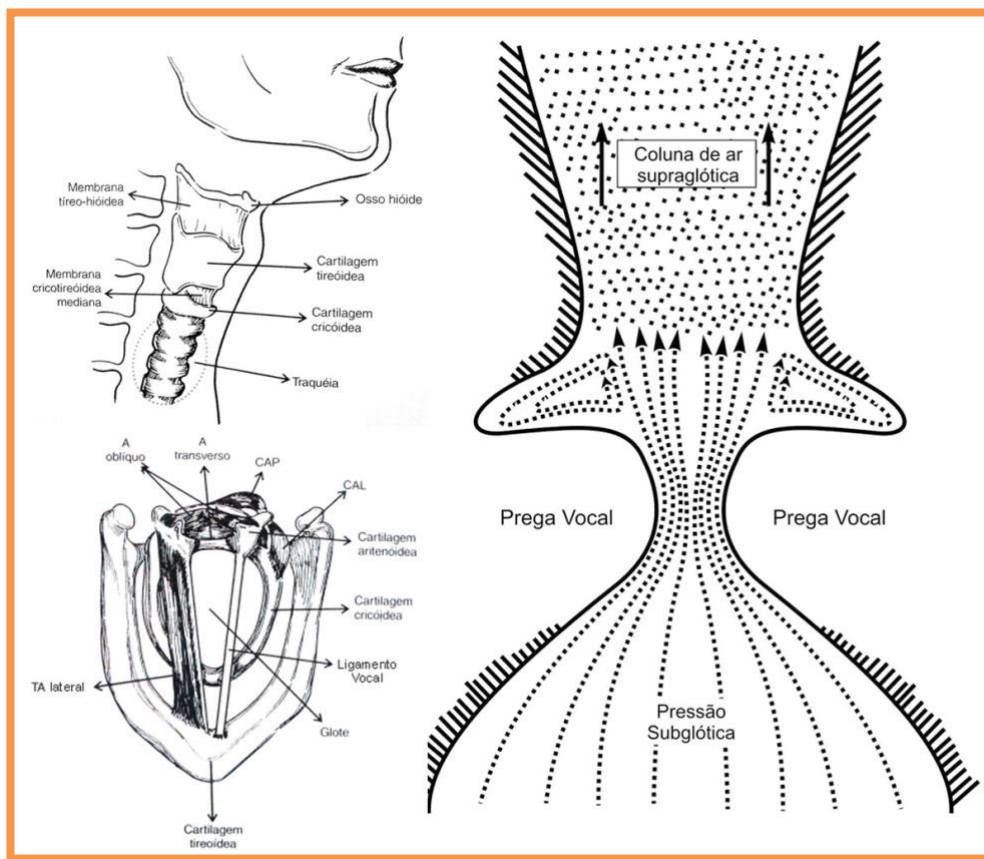


Figura 01 – Desenho da laringe, da traqueia no pescoço, das pregas vocais e músculos da laringe (adaptado de BEHLAU, AZEVEDO & MADAZIO, 2001); Direção do fluxo aéreo através da glote e em contato com a coluna de ar supraglótica (adaptado de Titze 1994).

Uma vez gerado, o som chega à boca (cavidade oral) e nariz (cavidade nasal) sendo novamente modulado e articulado para formar palavras (consoantes e vogais) faladas ou cantadas (Titze 1994, Behlau 2001, Pinho 2008). Todo esse processo fisiológico de produção do som vocal tem relação direta com a teoria fonte-filtro (Fant 1970) que considera as propriedades acústicas da voz.

A vibração laríngea, mais especificamente as vibrações das pregas vocais, constitui a fonte de energia sonora necessária à produção das vogais (Kent and Read 1992). O som primário gerado nas pregas vocais é chamado de fonte vocal que é similar para todos os sons vocálicos produzidos na mesma frequência e intensidade de fonação (Sundberg 1987). Todavia, quando se ouve as vogais percebe-se uma enorme distinção entre elas, mesmo sendo iguais em intensidade e frequência. Assim, a qualidade dos sons vocálicos não são consequência da fonte vocal apenas. Eles sofrem outros tipos de mudança que contribuem para o produto final ouvido. Quem se encarrega de modificar os sons provenientes da fonte vocal é o trato vocal que atua como um ressonador, modificando o seu formato para produzir padrões particulares de ressonância caracterizados pela função de transferência. Portanto, uma vez que a fonte vocal produz um som que é composto de uma rica série de frequências, o trato vocal amplifica seletivamente (filtra) aquelas compatíveis com o seu formato as quais serão radiadas (efeito de radiação) pela boca (Sundberg 1987, Kent and Read 1992, Titze 1994). Estas frequências de ressonância no trato vocal são chamadas de formantes. O trato vocal possui, geralmente, quatro ou cinco formantes mais relevantes (Sundberg 1987, Kent and Read 1992). A Figura 02 resume de forma representativa a teoria fonte-filtro da produção das vogais.

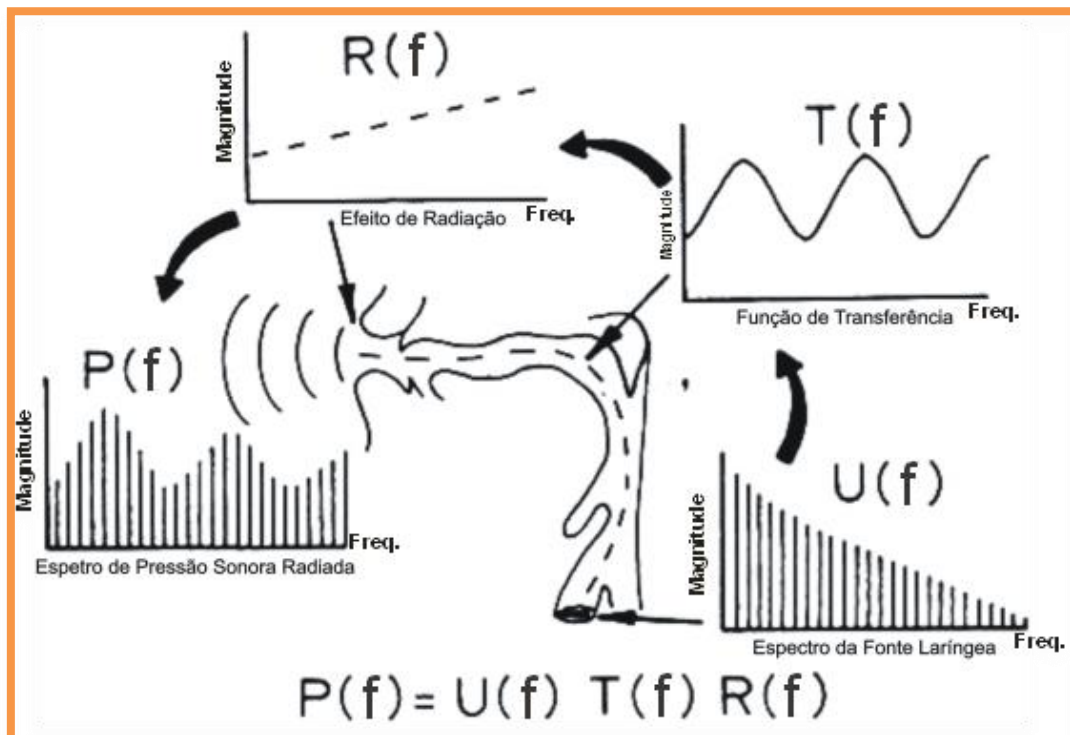


Figura 02 – Representação diagramática da teoria fonte-filtro da produção das vogais. (Adaptado de KENT & READ, 1992).

O canto é uma forma de arte e expressão executado por cantores de diferentes classificações vocais cujos tipos mais comumente conhecidos são: soprano, mezzo-soprano e contralto (para as vozes femininas); tenor, barítono e baixo (para as vozes masculinas) (Izzo 1946, Mansion 1948, Teixeira 1970, Perello 1975, Dinville 1993). Existem subtipos ou subcategorias dos tipos vocais mais comumente conhecidos e também outros tipos, como o contratenor, objeto deste estudo.

Contratenor é um cantor do gênero masculino que utiliza sua voz para cantar músicas na tessitura vocal normalmente e atualmente utilizada por contralto e soprano. Diz-se “atualmente” porque, cronologicamente, a voz do contratenor surgiu antes que vozes femininas fossem utilizadas na música ocidental, tendo recebido sua nomenclatura no final do século XV pelo nome de contratenor *altus*, sendo posteriormente chamado de contralto ou alto. Essa nomenclatura recebeu diferentes nomes em países e períodos distintos: *countertenor*, *‘alto*, *‘altist*, *‘falsettist*, *‘contralto* ou *‘haute-contre* (Giles 1994, Jander 2001)

Para entender melhor a definição da voz do contratenor é preciso referir ao termo registro vocal. Essa terminologia apresenta muitas controvérsias em sua definição e diferentes autores utilizam expressões diversas para definir e classificar (Hirano; Vennard; Ohala 1970, Hollien 1974). Neste estudo, utilizaremos a expressão registro vocal para se referir a uma faixa de extensão vocal na qual a voz apresenta qualidade sonora homogênea. Uma classificação comumente utilizada admite a existência de 3 registros: *fry*, modal (subdivididos em peito, médio e cabeça) e falsete (Pinho 1998, Sundberg and Högset 2001). No entanto, a relação dessa nomenclatura de registro, por vezes relacionada erroneamente a ressonância, gera confusões e por isso será utilizado neste estudo a nomenclatura proposta por Roubeau et al (2009), que define quatro mecanismos laríngeos, M0, M1, M2 e M3, que correspondem aos registros: basal (M0), modal (M1), falsete (M2) e flauta (M3). A figura 03 mostra a configuração glótica associada aos mecanismos M1 (modal) e M2 (falsete).

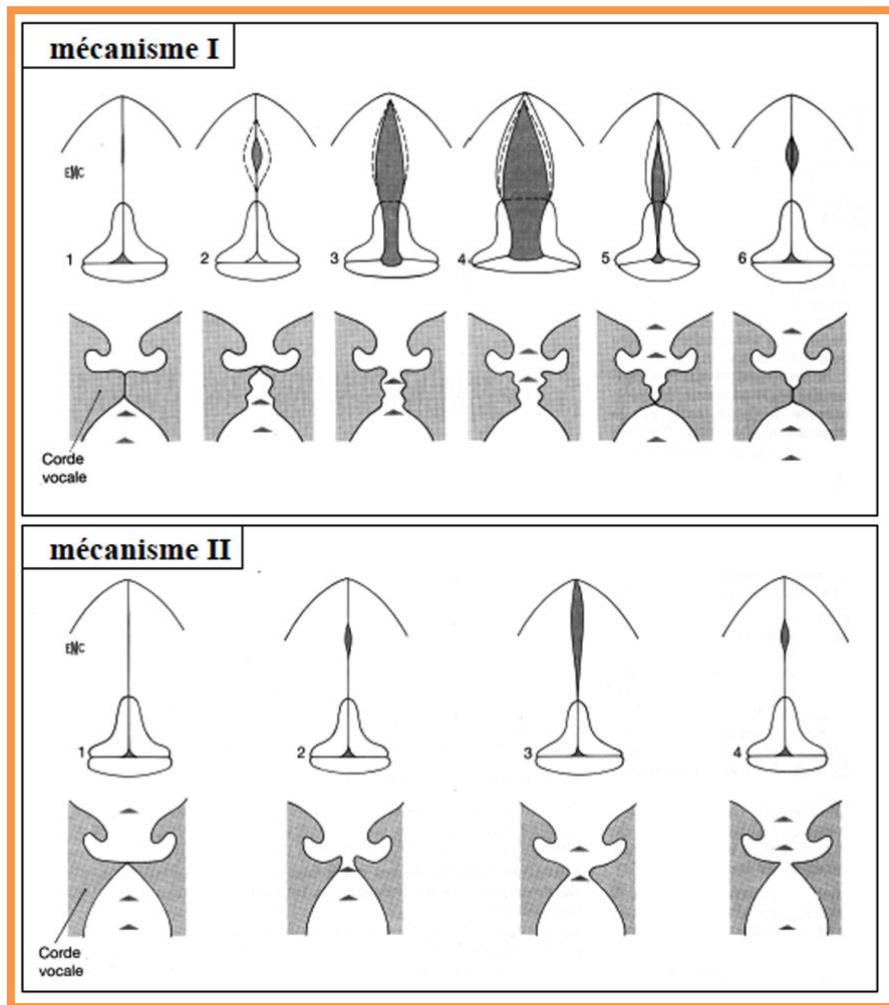


Figura 03 – Configuração glótica associada aos mecanismos 1 e 2. No mecanismo 1, as pregas vocais são espessas e vibram por todo seu comprimento. No mecanismo 2, a espessura e o comprimento vibratório são reduzidos (adaptado de Henrich 2001).

Registros vocais podem se sobrepor sendo possível cantar uma mesma sequência de notas musicais utilizando registros distintos. Na voz masculina, por exemplo, a faixa de notas musicais comum aos mecanismos M1 e M2 situa-se entre as notas Sol3 e Fá4. As regiões comuns a diferentes registros podem variar de sujeito para sujeito (Sundberg 2015, 84).

No canto lírico os mecanismos M1 e M2 são mais utilizados sendo o primeiro empregado nos tipos vocais mais conhecidos (soprano, mezzo-soprano, contralto, tenor, barítono e baixo) e o segundo no canto do contratenor. Portanto, por definição, contratenores são homens adultos com voz falada de tenor ou barítono/baixo, que geralmente usam uma técnica vocal de falsete (mecanismo M2) para cantar partes de contralto (alto) ou soprano (Giles 1982, Welch; Sergeant and Maccurtain, 1988). Sobre a extensão vocal desse tipo de cantor, Cruz, Hanayama e Gama (2004) em pesquisa com nove contratenores evidenciaram a divisão do contratenor em duas categorias: contratenor agudo (soprano) e contratenor grave (contralto), cujas tessituras médias eram de Sol3 (196 Hz) a Sol5 (784 Hz) e Sol3 (196 Hz) a Sib5 (932 Hz), respectivamente.

Em vozes não treinadas, o mecanismo M2 é caracterizado por uma voz soprosa (com escape de ar) devido à abertura parcial das pregas vocais em toda sua extensão (fenda paralela). No entanto, algumas emissões em M2 masculino não mostram fenda glótica e a voz produzida é bem mais potente, aguda e forte, podendo haver mais atividade do músculo tireoaritenóideo lateral, além do cricoaritenóideo lateral e aritenóideo,

definindo-se assim, o mecanismo utilizado pelos contratenores (Pinho 1998, Pinho 2001). Tom e Titze (2001) identificaram fonações de um contratenor em M2 produzidas com uma glote alongada e sem qualquer fenda glótica visível no processo vocal da aritenóide. O contato das pregas vocais durante a vibração foi relativamente breve, mas completo ao longo do comprimento membranoso das mesmas.

Contratenores utilizam diferentes ajustes laríngeos e supralaríngeos para cantar. Assim, diversas estruturas estão envolvidas no processo de produção da voz cantada: laringe, pregas vocais, boca, lábios, língua, cavidade nasal, etc. e suas configurações influenciam no tipo e qualidade de som gerado podendo alterar o timbre vocal de um indivíduo (CRUZ, 2006). Estudos xeroradiográficos das configurações do trato vocal em 9 contratenores profissionais mostraram que a maioria deles encurtaram o trato vocal quando cantaram alturas entre 165 a 330 Hz, enquanto que o comprimento do trato vocal permaneceu o mesmo entre 330 a 660Hz (Welch and Maccurtain 1987).

Diversos ajustes podem ocorrer tanto na região da laringe (região glótica) quanto na região da cavidade oral e/ou nasal (região supraglótica). Cantores utilizam diferentes tipos de ajustes vocais para cantarem notas musicais em regiões distintas da sua extensão vocal. O domínio na execução desses ajustes é que ajuda o cantor a manter uma qualidade de voz homogênea em toda sua extensão tornando quase que imperceptível uma mudança de registro e timbre vocal.

Lindestad e Södersten (1988) em estudo do comportamento laríngeo e faríngeo de contratenores realizando escalas ascendentes de uma oitava e saltos de oitava, observaram estreitamento do tubo laríngeo em 2 dos 4 contratenores e acentuado estreitamento da faringe inferior em todos os 4 contratenores. Nas mudanças para o *crescendo* em uma nota sustentada observaram alargamento do tubo laríngeo em 2 deles e alargamento da faringe em 3 dos 4 contratenores. Na mudança do mecanismo M1 na voz de barítono para o M2 na voz de contratenor, observaram um alargamento do tubo laríngeo em 3 contratenores e alargamento da faringe em 2 deles. Segundo Sundberg (1987, 1991) o abaixamento da laringe em muitos cantores proporciona o alargamento da faringe, fazendo com que a laringe atue como um ressonador separado com uma ressonância próxima a 3 kHz.

O formante do cantor é um fenômeno ressonantal que pode ser produzido com uma fonte vocal normal, sendo caracterizado por um agrupamento dos terceiro, quarto e quinto formantes, gerando uma região de alta energia espectral próxima a 3 kHz (Sundberg, 1974, 1987, 1991, 2001). Experimentos com modelos acústicos do trato vocal mostraram que o agrupamento do terceiro, quarto e quinto formantes pode ser obtido pelo alargamento da faringe comparada com a entrada do tubo laríngeo (SUNDBERG, 1987, 1991). Wendler e col. (1983) utilizando técnicas de análise de espectro médio de longa duração (*Long Term Average Spectrum* - LTAS) identificaram um formante do cantor agudo em uma voz de contratenor. Enquanto que Bogg e Thorpe (2000), pesquisando mudanças de registro em oito contratenores através da espectrografia de banda larga, identificaram a presença do formante do cantor compreendido entre a região de 2000 e 4000 Hz.

Alguns estudos enfocam exclusivamente a voz do contratenor tais, como o de Gottfried e Chew (1986), a respeito da inteligibilidade das vogais cantadas por um contratenor; Södersten e Lindestad (1987) sobre o padrão de fechamento das pregas vocais no canto do contratenor; Bogg e Torpe (2000) a respeito da qualidade vocal ao longo da tessitura e das mudanças de registro e Howard, Welch e Penrose (2001) sobre evidências acústicas e da fonte vocal (pregas vocais) para a existência de sub-registros na voz do contratenor.

Entretanto, a maioria das pesquisas envolve o estudo da voz do contratenor juntamente com outros tipos vocais como os tenores e barítonos. Lindestad e Sördesten (1988) pesquisaram os ajustes laríngicos e faríngeos no canto dos contratenores e barítonos; Welch, Sergeant e Maccurtain (1988) estudaram as diferenças de dimensão do trato vocal em tenores, barítonos e baixos e compararam com contratenores; Sundberg e Högset (2001) pesquisaram as diferenças da fonte vocal (pregas vocais) através de filtragem inversa, entre os registros modal e falsete em contratenores e barítonos; Henrich (2001), estudou a relação dos registros vocais com os dados eletroglotográficos durante o canto em todos os tipos vocais, incluindo contratenores.

O objetivo deste estudo foi o de observar os ajustes glóticos e supraglóticos realizados somente por contratenores em tarefas inseridas dentro de um contexto musical e comparar os achados com outros estudos (Welch and Maccurtain 1987, Södersten and Lindestad 1987, Lindestad and Södersten 1988) que avaliaram a voz através de tarefas isoladas, além de pesquisar a presença do formante do cantor e a quantificação do seu nível de amplitude.

## 2. Metodologia

As avaliações foram realizadas com 4 contratenores, todos provenientes do estado de Minas Gerais, que exercem exclusivamente a atividade de cantor lírico, sem influência de outro estilo de canto, e que não tiveram nenhuma alteração vocal no período de seis meses pregresso. Considerando o tempo de experiência e a técnica dos contratenores, dividiu-se os cantores nas seguintes categorias: estudante, amador e profissional. Na categoria estudante incluiu-se o contratenor em processo de formação, cursando, ou não, graduação em canto e com pouco tempo de experiência (entre 2 e 4 anos). Na categoria amador incluiu-se o contratenor com experiência (acima de 4 anos), mas que não atua profissionalmente como cantor, exercendo outro tipo qualquer de atividade. Finalmente, na categoria profissional incluiu-se o cantor com graduação em canto, com grande experiência e que atua profissionalmente como contratenor. A Tabela 1 abaixo resume as informações de cada sujeito.

Tabela 1 – Caracterização dos sujeitos. Idade, tempo de experiência como cantor, categoria enquadrada e tessitura vocal.

	Idade	Experiência	Categoria	Tessitura
CT1	26	2,5	Estudante	Fá <sub>3</sub> – Fá <sub>5</sub>
CT2	44	22	Amador	Sol <sub>3</sub> – Lá <sub>5</sub>
CT3	33	10	Profissional	Sol <sub>3</sub> – Sib <sub>5</sub>
CT4	35	12	Profissional	Sol <sub>3</sub> – Sol <sub>5</sub>

Para a aquisição dos dados foi solicitado aos sujeitos que executassem dois saltos intervalares e um *crescendo* em nota sustentada, baseado na metodologia de Lindestad e Södersten (1988), que utilizou tarefas, isoladas e de frequências aleatórias, de saltos de oitava, *crescendo* em nota sustentada, com a diferença de que neste presente estudo, as tarefas foram inseridas em contexto musical. Excertos musicais foram selecionados dentro do repertório barroco por ser o período de maior atuação dos contratenores. Trechos contendo as tarefas propostas para este estudo foram extraídos da ária *La giustizia ha già sull'arco da ópera Giulio Cesare de George Frederick Haendel*.

Devido ao fato de que os contratenores cantam na afinação barroca, referente ao Lá<sub>4</sub> = 415 Hz (aproximadamente um semitom abaixo do Lá<sub>4</sub> = 440Hz), a ária que é originalmente em Sol menor, foi

transposta para a tonalidade de Fá# menor. Abaixo na Figura 04 os trechos da ária *La giustizia ha già sull'arco* já transposta para Fá# menor. As elipses indicam as partes de cada trecho da ária que foram analisadas. A tarefa 1 é um salto de 6ª menor (Fá#5 = 740 Hz); a tarefa 2 um salto de 4ª justa (Ré5 = 587 Hz); a tarefa 3 um *crescendo* em nota sustentada (Si4 = 494 Hz). No primeiro contato com os sujeitos foi fornecido o material a ser estudado.



Figura 04 – Tarefas destacadas nas elipses: (1) salto de 6ª menor (Fá#5 = 740 Hz); (2) salto de 4ª justa (Ré5 = 587 Hz); (3) *crescendo* em nota sustentada (Si4 = 494 Hz).

As tarefas foram realizadas durante a fibronasolaringoscopia que é um exame feito através de um endoscópio do tipo flexível, introduzido pela narina do sujeito avaliado, permitindo a fonação em fala encadeada ou fonação cantada (Figura 05). Utilizou-se um fibroscópio flexível Machida ENT-30PII, câmera Toshiba IK-M43H13, fonte de luz Brüel & Kjaer. A fibronasolaringoscopia é ideal para avaliar os ajustes glóticos e supraglóticos, como constrição laríngea, faringe, posicionamento vertical da laringe, especialmente quando estes são realizados na atividade do canto. Dentre as diversas repetições das tarefas escolheu-se para análise um exemplo de cada ajuste em que o contratenor não tivesse cometido nenhuma falha durante o canto e que tivesse a imagem nítida e o áudio sem falhas. Simultaneamente a realização do procedimento o sinal acústico foi gravado utilizando um gravador digital DAT da marca Tascam modelo DA-P1 conectado a um microfone dinâmico da marca AKG modelo D 880, para posterior análise. Todas as tarefas foram gravadas em vídeo digitalizado para análise posterior e cortados digitalmente resultando em um total de 12 vídeos, sendo um arquivo de vídeo para cada tarefa, somando três arquivos no total para cada sujeito.



O estudo foi submetido à avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos, do Hospital Mater Dei, local de realização da coleta dos dados.

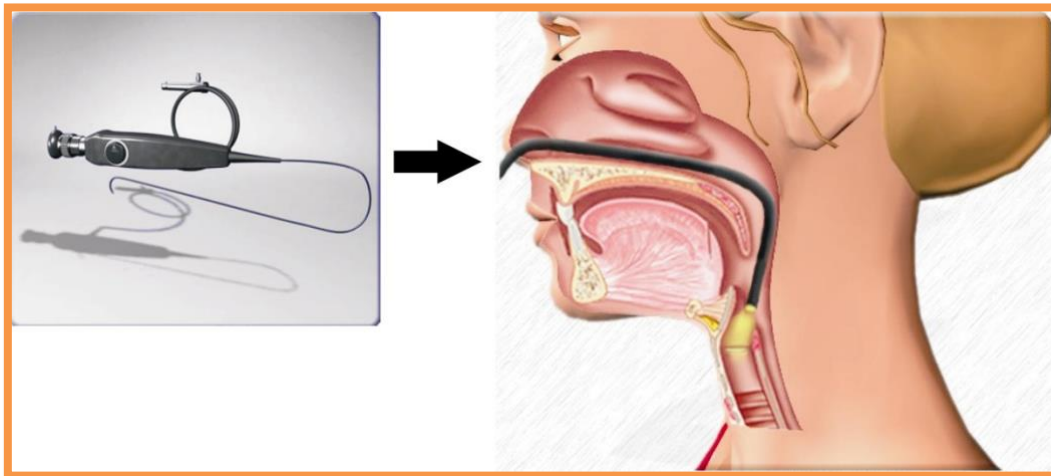


Figura 05 – Desenho esquemático do aparelho de fibronasolaringoscopia e do posicionamento do aparelho na laringe durante a avaliação (adaptado de Vocal Parts Brasil 2000).

Aspectos anatômicos e musculares foram avaliados a partir das imagens captadas pelo exame de fibronasolaringoscopia e anotados de acordo com uma escala de de 0 a 3, sendo o grau 0 correspondente à ausência de ajuste e os graus 1, 2 e 3 correspondentes à presença de ajuste em baixo, médio e alto grau, respectivamente. Avaliou-se a laringo-faríngea (constricção faríngea lateral e/ou circular, alargamento da faringe) e a laringe (constricção ariepiglótica, constricção lateral, alargamento, abaixamento, elevação).

### 3. Resultados

Nas tarefas de alteração de frequências observou-se elevação de laringe em baixo grau (tarefa 1) em todos os sujeitos com exceção do CT1 (estudante) em que a elevação atingiu o grau máximo da escala. Essa observação pode ser explicada pela tessitura mais limitada do CT1 (Tabela 01) que vai de Fá3 (174 Hz) a Fá5 (698 Hz), que dificulta a execução desta tarefa, que apresenta o salto de Lá4 (440 Hz) a Fá#5 (740 Hz), que ultrapassa sua tessitura de conforto, o que parece ter provocado essa grande elevação laríngea. Apenas o CT2 (amador) apresentou constricção ari-epiglótica em baixo grau, enquanto todos os sujeitos apresentaram constricção faríngea circular ou lateral. O CT1 apresentou constricção faríngea lateral em alto grau, condizente com a elevação laríngea, enquanto o CT2 apresentou padrões alternados com constricção circular da faringe inferior e boa abertura, ausente de constrições, na faringe superior. O mesmo padrão apresentou o CT4 (profissional) com a diferença da presença de leve constricção da faringe superior, enquanto o CT3 (profissional) apresentou leve constricção da faringe inferior e boa abertura, ausente de constrições, na faringe superior. Observou-se maior facilidade na execução da tarefa 1 por parte do CT3, que apresentou a maior tessitura vocal entre os participantes.

A laringe permaneceu mais estável e sem muitas oscilações verticais na tarefa 2, com exceção do CT1 que apresentou discreta elevação, porém em menor grau do que na tarefa 1. Todos os sujeitos apresentaram algum tipo de constricção faríngea circular ou lateral, com exceção do CT3. Para o CT1 a constricção lateral faríngea diminuiu em relação à tarefa 1. O CT2 apresentou o mesmo padrão alternado de constricção faríngea circular, porém um pouco menos acentuado que na tarefa 1. O CT3 não apresentou nenhum tipo de

constricção, mantendo uma boa abertura faríngea. O CT4 manteve o mesmo padrão da tarefa 1, também diminuindo a constricção circular como o CT2.

Em geral, com a diminuição da altura, a laringe tende a permanecer em posição mais baixa. Constrições faríngeas laterais e circulares foram observadas em ambas tarefas 1 e 2, porém mais acentuadas na tarefa 1, em que os sujeitos atingiram notas mais agudas próximas ao topo de sua tessitura vocal, com exceção do CT3 que teve menor grau de constricção, em relação aos demais, provavelmente devido a sua maior tessitura vocal. A constricção ari-epiglótica foi observada apenas no CT2 (amador). Os detalhes observados e analisados nas tarefas 1 e 2 são mostrados na Tabela 02.

**Tabela 2 - Observações da Laringe e Faringe em relação ao aumento de altura para cada sujeito**

Sujeitos	Extensão de Frequência	Laringe	Faringe
Contratenores			
CT1	Tarefa 01: Salto Lá4 (440 Hz) a Fá#5 (740 Hz)	EL 3	CFL 3, CFC 0, CAE 0
	Tarefa 02: Salto Lá4 (440 Hz) a Ré5 (587 Hz)	EL 1	CFL 2, CFC 0, CAE 0
CT2	Tarefa 01: Salto Lá4 (440 Hz) a Fá#5 (740 Hz)	EL 1	CFL 0, CFC 1, CAE 1
	Tarefa 02: Salto Lá4 (440 Hz) a Ré5 (587 Hz)	EL 0	CFL 0, CFC 1, CAE 0
CT3	Tarefa 01: Salto Lá4 (440 Hz) a Fá#5 (740 Hz)	EL 1	CFL 1, CFC 0, CAE 0
	Tarefa 02: Salto Lá4 (440 Hz) a Ré5 (587 Hz)	EL 0	CFL 0, CFC 0, CAE 0
CT4	Tarefa 01: Salto Lá4 (440 Hz) a Fá#5 (740 Hz)	EL 1	CFL 1, CFC 2, CAE 0
	Tarefa 02: Salto Lá4 (440 Hz) a Ré5 (587 Hz)	EL 0	CFL 1, CFC 1, CAE 0

CT = contratenor, 0 = ausência, 1 = baixo grau, 2 = médio grau, 3 = alto grau, EL = elevação laríngea, CFL = constricção faríngea lateral, CFC = constricção faríngea circular, CAE = constricção ari-epiglótica.

Na tarefa de alteração de intensidade (tarefa 3) observou-se a laringe em posição mais baixa quando comparada à posição observada nas tarefas 1 e 2, sendo esse abaixamento em baixo grau para o CT1 e alto grau para o CT3. Houve alargamento da faringe superior e inferior para todos os sujeitos com exceção do CT1 que apresentou baixa constricção faríngea lateral (Tabela 3). O *crescendo* em nota sustentada foi realizado na nota Si4 (494Hz) sendo em região média e assim confortável para todos os sujeitos.

**Tabela 3 - Observações da Laringe e Faringe em relação ao aumento de intensidade para cada sujeito**

Sujeitos	Extensão de Frequência	Laringe	Faringe
Contratenores			
CT1	Tarefa 03: Crescendo Si4 (494 Hz)	AL 1	AF 0, CFL 1
CT2	Tarefa 03: Crescendo Si4 (494 Hz)	AL 1	AF 2, CFL 0
CT3	Tarefa 03: Crescendo Si4 (494 Hz)	AL 3	AF 3, CFL 0
CT4	Tarefa 03: Crescendo Si4 (494 Hz)	AL 2	AF 2, CFL 0

CT = contratenor, 0 = ausência, 1 = baixo grau, 2 = médio grau, 3 = alto grau, AL = abaixamento laríngeo, AF = alargamento faríngeo, CFL = constricção faríngea lateral.

Durante a execução das tarefas as pregas vocais permaneceram alongadas e fechadas em toda a sua extensão e nenhum escape de ar ou abertura (fenda glótica) foi observado. A Figura 06 mostra um

comparativo de imagens obtidas na fibronasolaringoscopia evidenciando a diferença de grau dos ajustes observados nas tarefas realizadas.

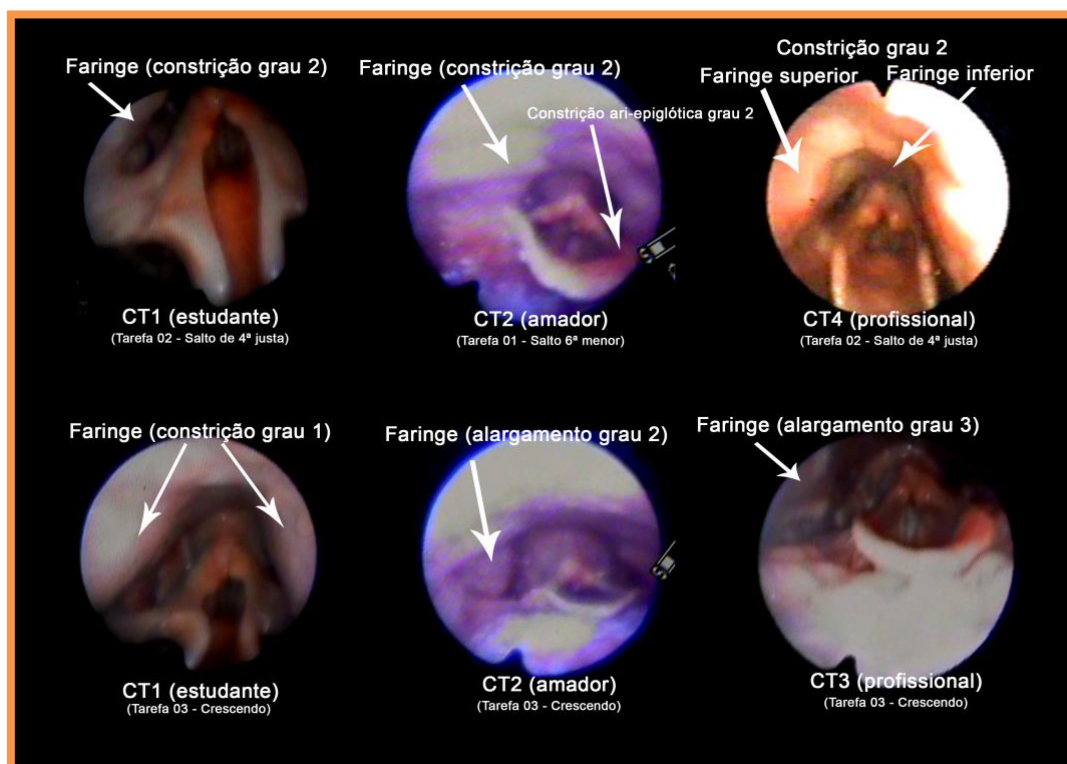


Figura 06 – Imagens dos ajustes glóticos e supraglóticos dos sujeitos em diferentes tarefas.

A análise acústica mostrou a clara presença do formante do cantor nos sujeitos CT3 e CT4 (profissionais) sendo este mais discreto e às vezes ausente no CT1 (estudante) e no CT2 (amador). Nas tarefas 1 e 2 foi possível observar o formante do cantor na espectrografia de banda larga, porém foi na tarefa 3 que o aumento de energia em torno de 3KHz ficou mais evidente (Figura 07). Todas as gravações foram normalizadas para o áudio completo de cada sujeito.

A análise da espectrografia de banda larga (janelamento *Hanning* e comprimento 64) do *crescendo* em nota sustentada permite inferir que o aparecimento do formante do cantor (aumento de energia em torno de 3KHz) pode ter ocorrido concomitantemente com a sintonia ocorrida entre a frequência fundamental (F0) e o primeiro formante (F1), com consequente aumento da intensidade. Tal situação ocorreu com todos os sujeitos, mas foi mais visível para os sujeitos CT3 e CT4. O segundo formante (F2) também sofreu aumento da amplitude ao longo do *crescendo*. As emissões foram na nota Si4 (494 Hz) com a vogal /o/ fazendo com que a frequência fundamental (F0) se aproximasse do valor esperado para o primeiro formante (F1) em homens, que é aproximadamente 458Hz de acordo com Monteiro (1995). Automaticamente, o segundo harmônico (988 Hz) correspondeu ao valor esperado para o segundo formante (F2) que é aproximadamente 924 Hz. Esses fatores caracterizaram um acoplamento acústico fonte-filtro que foi facilitado pela configuração laríngea e supralaríngea (abaixamento de laringe e alargamento de faringe) na emissão, fazendo com que o som emitido pelas pregas vocais fosse bem mais amplificado nas regiões dos formantes e radiado de maneira mais eficiente corroborando assim os resultados de outros estudos: ROTHENBERG, 1986; SUNDBERG & SKOOG, 1997; TITZE, 2004, 2006.

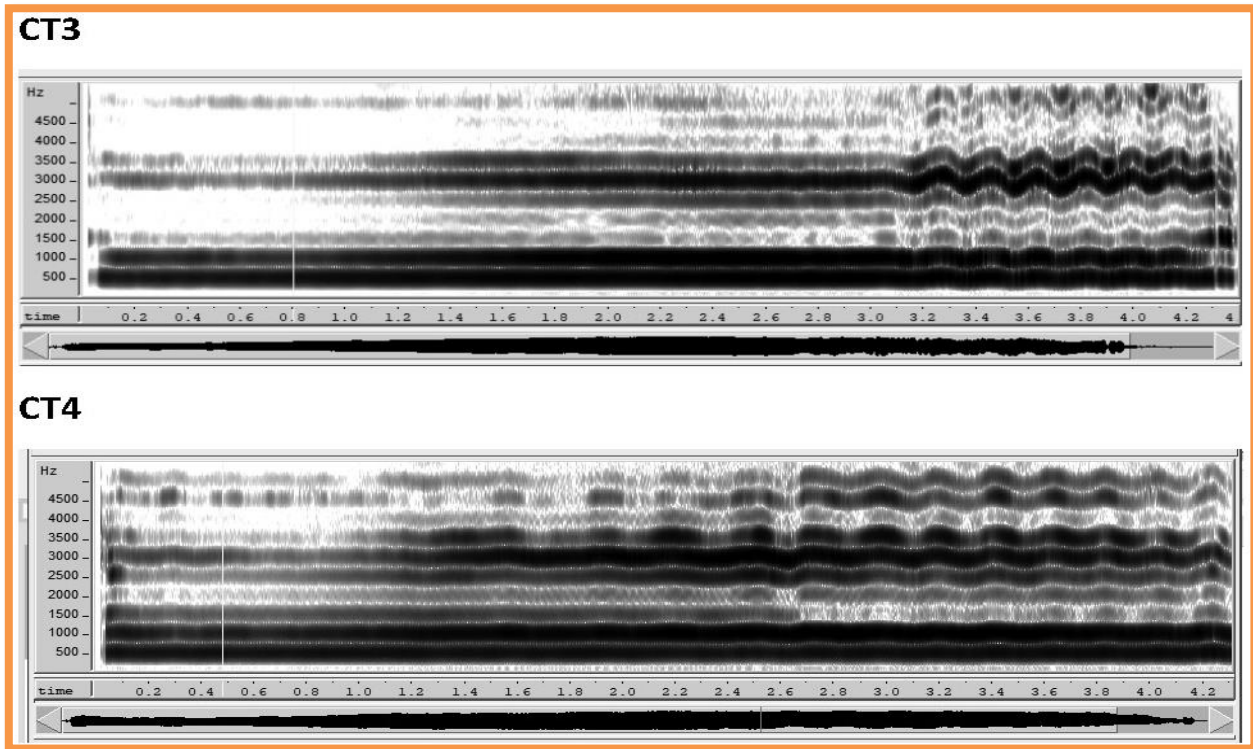


Figura 07 - Espectrografia de Banda Larga dos sujeitos CT3 e CT4 para o *crescendo* em nota sustentada. Frequência em Hz (eixo vertical); tempo em segundos (eixo horizontal)

## 4. Discussão

### 4.1. Ajustes do Trato Vocal

O exame de fibronasolaringoscopia possui limitações relativas à quantificação e observação de todos os ajustes que podem ser realizados durante o canto. Porém, o método é de grande valia para observar o comportamento do trato vocal e pode ser associado a outros métodos de aquisição de imagens como a radioscopia ou ressonância magnética com a finalidade de se obter mais dados para serem conjugados durante a realização das mesmas tarefas. Dito isto, na fibronasolaringoscopia é possível observar qualitativamente, que mudanças de altura, de uma nota mais grave para outra mais aguda, influenciam na posição vertical da laringe bem como provocam um alongamento das pregas vocais (Hirano; Vennard and Ohala 1970, Lindestad and Södersten 1987). Mudanças de altura do grave para o agudo causam aumento da constrição faríngea lateral ou circular juntamente com a elevação laríngea. Esse aumento de constrição está de acordo com o estudo de Lindestad e Södersten (1988), no entanto, fazendo um comparativo entre as notas musicais avaliadas em tal estudo e neste presente (estudo) no que tange a correspondência de análise relativa à nota alvo Ré5 (587 Hz) (tarefa 2) concluiu-se que há diferença em relação ao grau ou quanto a presença de constrição faríngea. Observou-se que na tarefa 02 os sujeitos apresentaram constrição (estreitamento) faríngeo em baixo (CT2, CT3 e CT4) e médio grau (CT1) divergindo do considerável estreitamento relatado por Lindestad e Södersten (1988).

Os resultados referentes ao *crescendo* em nota sustentada foram condizentes aos encontrados por Lindestad e Södersten (1988) em que se observou alargamento da região faríngea. No referido estudo, dois sujeitos emitiram a nota Dó4 (262 Hz), outro o Sol4 (392 Hz) e o último o Si4 (494 Hz), sendo que apenas este último não apresentou nenhuma mudança na faringe. As notas de emissão foram distintas entre os

sujeitos, mas ocorreram na região média da tessitura em que os contratenores geralmente não apresentam dificuldades técnicas. Assim, pode-se considerar que os resultados são condizentes, mesmo ocorrendo para notas distintas.

Neste presente estudo, em que as emissões ocorreram na nota Si4 (494 Hz) para todos os sujeitos, apenas o CT1 (estudante) apresentou discreta constrição faríngea inferior, enquanto os outros sujeitos apresentaram alargamento faríngeo inferior e superior, com grande abaixamento da laringe. Provavelmente os contratenores avaliados por Lindestad e Södersten (1988) fizeram a emissão do *crescendo* em nota sustentada com a laringe abaixada, pois o abaixamento da laringe proporciona o estiramento das paredes laterais da faringe fazendo com que a faringe inferior seja alargada (Sundberg 1987, Sundberg 1991). Pode-se dizer a partir das observações feitas neste estudo e dos resultados referidos por Lindestad e Södersten (1988) descritos no parágrafo anterior, que é possível que haja abaixamento de laringe e alargamento da faringe inferior e superior até a nota Si4 (494 Hz) em emissão sustentada.

## 4.2. Análise Acústica

O objetivo principal da análise acústica foi o de fazer observações relativas à presença ou ausência do formante do cantor nas diferentes tarefas realizadas pelos contratenores. Através da espectrografia de banda larga pôde-se verificar a configuração dos formantes, em especial o aumento da amplitude de energia na região entre 2500 e 3500 Hz, para todas as tarefas propostas.

Bogg e Thorpe (2000) evidenciaram a presença do formante do cantor na execução de escalas ascendente e descendente realizadas por oito contratenores. Eles caracterizaram a voz do contratenor como sendo de qualidade leve e suave a partir das afirmações de Sundberg (1987) que fazia tal caracterização pela diferença entre as amplitudes dos formantes mais agudos em relação ao mais grave.

De acordo com Sundberg (2001) o nível do formante do cantor é determinado pela diferença observada e esperada dos níveis de amplitude, em dB NPS, do terceiro e primeiro formante, sendo  $L3 - L1$ . Ele calculou as diferenças de  $L3 - L1$  para falantes, cantores eruditos masculinos e cantoras eruditas femininas. Os baixos, barítonos e tenores apresentaram maiores valores do nível do formante do cantor, enquanto que os sopranos apresentaram valores bem menores e muito variáveis.

Neste presente estudo, o formante do cantor foi mais visível na execução do *crescendo* em nota sustentada (tarefa 03) para todos os sujeitos. A teoria acústica da produção da voz (Fant 1970) explica que o nível de amplitude do formante aumenta se sua distância frequencial em relação a outro formante diminui. Todavia, comumente ocorre à medida que a intensidade é aumentada (*crescendo*) em certo ponto da emissão. Esse fato está de acordo com as afirmações de Fant (1970), Cleveland e Sundberg (1983) e Gauffin e Sundberg (1989) que demonstraram que quando a intensidade vocal é aumentada, os harmônicos de alta frequência ganham mais em nível sonoro do que os harmônicos em baixa frequência. Sundberg (2001) demonstrou em pesquisa com cantores masculinos realizando tarefas de *crescendo* em várias vogais e alturas que quando o nível sonoro total aumenta 10 dB, o nível acima de 2000 Hz aumenta em média 16,3 dB. Com base no estudo de Sundberg (2001) o nível de amplitude do formante do cantor, obtido através de  $L3 - L1$ , pôde ser aplicado ao *crescendo* em nota sustentada com o objetivo de confirmar a presença ou não do formante. No entanto,

diferentemente de Sundberg (2001) que analisou o nível de amplitude do formante do cantor em várias vogais, neste presente estudo o nível foi analisado apenas na vogal /o/ presente na tarefa 3.

Os níveis de amplitude do formante do cantor para o *crescendo* em nota sustentada foram similares aos níveis obtidos por Sundberg (2001) tanto para os cantores masculinos e femininos analisados por ele. Em sua pesquisa o grupo masculino apresentou nível próximo a 20 dB NPS para a vogal /o/, enquanto dois sopranos apresentaram níveis próximos entre 10 e 17 dB para a vogal /o/. Uma soprano apresentou nível abaixo de 0 dB, ou seja, negativo. Os valores referentes a sopranos variaram muito e tiveram de ser analisados por LTAS (*Long Term Average Spectrum*), que sugeriu a inexistência do formante do cantor neste tipo vocal. A Figura 08 mostra uma análise LTAS feita com os sujeitos dessa pesquisa e dois sopranos (tarefas 1,2 e 3), além de uma espectrografia de banda larga (janelamento *Hanning* e comprimento 64) para os sopranos, executando a tarefa 3. As amostras dos sopranos foram obtidas através de gravações, contidas em CD (ref. HMC 901.385.87 e ref. HMC 474.210.2), da ária *La giustizia ha già sull'arco*. A parte correspondente a tarefa 3 foi extraída e convertida e normalizada da mesma forma que a realizada com os dados dos sujeitos desta pesquisa.

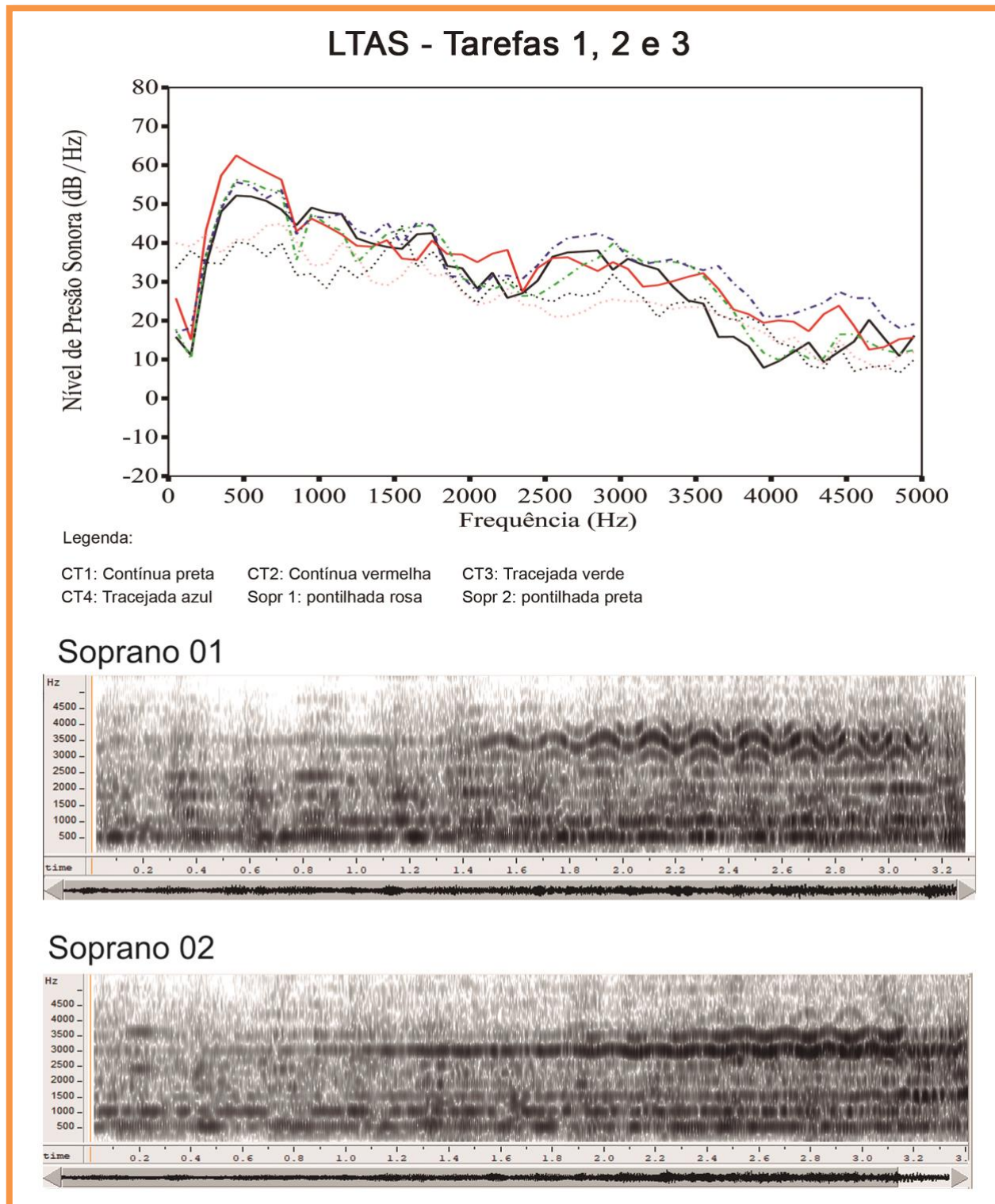


Figura 08 – Gráfico LTAS (*Long Term Average Spectrum*) e Espectrograma de Banda Larga para os contratenores e dois sopranos. Soprano 01 (CD ref. HMC 901.385.87) e Soprano 02 (CD ref. HMC 474.210.2).

Sundberg (2001) relata que em F0 muito agudo o espaçamento dos harmônicos é maior e por isso há a chance de que para algumas alturas nenhum harmônico entre na região de frequência do cluster. Esse fato é aplicado aos sopranos e por consequência aos contratenores de certa forma porque o formante do cantor foi menos visível ou ausente para alguns sujeitos justamente em trechos agudos, como na tarefa 1. Contudo, o fato dos contratenores possuírem um trato vocal de comprimento maior que o de sopranos, sendo similar ao de baixos, barítonos e tenores (Welch, Sergeant e MacCurtain, 1988) pode, de certa forma, contribuir para o aparecimento do formante de cantor, mesmo em regiões em que o F0 é agudo, como aconteceu com

o CT4. Ainda assim, os ajustes laríngeos e supralaríngeos realizados por contratenores, como o abaixamento de laringe, podem contribuir para que estes tenham maior amplitude do formante do cantor se comparado aos sopranos, como ocorrido no *crescendo* em que houve grande abaixamento de laringe e o aparecimento de um formante do cantor bem visível com picos entre 2750 e 3250 Hz, condizente com as afirmações de Sundberg (1987, 1991).

Fatores como a variação da fonte sonora glótica como uma função da intensidade vocal, frequência fundamental, interação acústica entre o som da fonte glótica e o trato vocal e articulação de diferentes vogais, tem influência no nível sonoro do formante do cantor (Bloothoof and Plomp 1986).

A sintonia  $F_0/F_1$  observada no *crescendo* em nota sustentada pode ser explicada por meio do modelo de interação acústica entre a fonte e o trato vocal (Rothenberg 1986, Rothenberg 1988), inicialmente descrita e exemplificada com vozes de sopranos realizando emissões em diferentes vogais, em que o valor de  $F_0$  ultrapassava o valor de  $F_1$ . Da mesma forma que sopranos, os contratenores utilizam mecanismos para elevar o valor de  $F_1$  próximo ao de  $F_0$  quando este está elevado. Um destes mecanismos envolve o abaixamento da mandíbula com conseqüente aumento da abertura labial conforme descrito por Sundberg & Skoog (1997).

A interação entre fonte e filtro, que afirma que a pressão sonora no trato vocal interage com o movimento vibratório das pregas vocais, possibilita um máximo de transferência de energia para o trato vocal. Como conseqüência é gerado um aumento relativo da amplitude dos harmônicos de alta frequência e faz com que os cantores economizem fluxo aéreo (Rothenberg 1986, Rothenberg 1988; Titze 2004, Titze 2006). Titze (2004) afirma que uma configuração não-interativa pode ser vantajosa nas produções do contratenor, em que um caráter de falsete é usado e um único harmônico (o fundamental) tem o maior destaque. Todavia, os achados deste presente estudo estão de acordo com os dados de Bogg e Thorpe (2000) em que o formante do cantor em contratenores está compreendido entre 2000 e 4000Hz, evidenciando que em certas regiões da tessitura vocal outros harmônicos, além da fundamental, também têm destaque.

## 5. Conclusão

O aumento da altura está diretamente ligado à elevação da laringe e aumento das constrictões faríngeas causando estreitamento do tubo laríngeo. Contratenores utilizam o mecanismo M2 para cantar ajustando a laringe em posição mais baixa em relação ao repouso e assim promovem um notável alargamento da faringe e conseqüente ampliação do tubo laríngeo até a região média da tessitura vocal. Os ajustes laríngeos e supralaríngeos além de contribuir para o fechamento completo das pregas vocais, auxiliam numa ideal interação fonte-filtro fazendo com que as emissões dos contratenores sejam realizadas com a presença do formante do cantor.

Foi demonstrado que contratenores profissionais, nas diferentes tarefas executadas, realizam ajustes laríngeos e supralaríngeos (maior grau de abaixamento laríngeo e alargamento faríngeo) que favorecem uma melhor qualidade e desempenho vocal.

O nível do formante do cantor, obtido através da diferença de amplitude dos formantes  $F_3$  e  $F_1$ , ou seja,  $L_3-L_1$ , foi maior para os cantores profissionais. Em regiões próximas ao limite da tessitura vocal não há clara presença do formante do cantor. No entanto, na região média da tessitura vocal, o cluster dos formantes



F3, F4, e F5, com consequente aumento da energia espectral em torno de 3KHz, foi mais nítido e proeminente nos contratenores profissionais. A análise LTAS demonstrou que, nas mesmas condições de análise, contratenores mostram a presença do formante do cantor de forma mais nítida do que sopranos.

Considerando os ajustes laríngeos e supralaríngeos observados nos contratenores deste estudo, pode-se pressupor que atividades específicas ao ensino do canto a este tipo de cantor venha a considerar técnicas de abaixamento de laringe como fator fundamental. Não se deve deixar de atentar aos limites da tessitura vocal, uma vez que as constrições faríngeas e elevações laríngeas tendem a ocorrer próximas ao topo desta.

## 6. Referências

- Behlau, Mara, Azevedo, Renata, Madazio, Glauçya. 2001. "Anatomia da laringe e fisiologia da produção vocal". In: *Behlau, Mara. Voz o livro do especialista*. v. 1: 01-51. Rio de Janeiro: Revinter.
- Bloothoof, Gerrit, Plomp, Reinier. 1986. *The sound level of the singer's formant in professional singing*. The Journal of the Acoustical Society of America, v. 79, n. 6, 2028-2033.
- Bogg, Lois, Thorpe, William. 2000. *Register change in the countertenor voice*. Australian Voice, 6: 23-9.
- Cleveland, T, Sundberg Johan. 1985. "Acoustic analysis of three male voices of different quality". In: *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference (SMAC 83)*. 46(1): 143-156, Stockholm, Sweden-Royal Swedish Academy of Music.
- Cruz, Tiago, Gama, Ana Cristina, Hamayama, Eliana. 2004. *Análise da extensão e tessitura vocal do contratenor*. Revista CEFAC, 6 (4): 423-28.
- Cruz, Tiago. 2006. *Estudo dos Ajustes laríngeos e supralaríngeos no canto dos contratenores: Dados Fibronasolaringoscópicos, VideoRadioscópicos, Eletroglotográficos e Acústicos*. 146 f. Dissertação de Mestrado em Música. Escola de Música. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Dinville, Claire. 1993. *A Técnica da Voz Cantada*. Tradução da 2a ed. Original, Rio de Janeiro: Enelivros.
- Fant, Gunnar. 1970. *Acoustic Theory of Speech Production*. 2a ed. Paris: Mouton.
- Gauffin, Jan, Sundberg, Johan. 1989. *Spectral correlates of glottal voice source waveform characteristics*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 32: 556-565.
- Giles, Peter. 1982. *The countertenor*. London: Frederick Muller.
- Gottfried, Terry, Chew, Stephen. 1986. *Intelligibility of vowels sung by a countertenor*. The Journal of the Acoustical Society of America, 79(1): 124-30.
- Henrich, Nathalie. 2001. *Etude de la source glottique en voix parlée et chantée: modélisation et estimation, mesures acoustiques et électroglottographiques, perception*. Tese de Doutorado, Universidade Paris 6.

- Hirano, Minoru, William Vennard, and John Ohala. 1974. "Regulation of register, pitch and intensity of voice." *Folia phoniatrica et logopaedica* 22.1: 1-20.
- Hollien, Harry. 1974. *On vocal registers*. *Journal of Phonetics*. 2: 125-143.
- Howard, David, Welch, Graham, Penrose, T. 2001. "Case study acoustic and voice source evidence for the existence of sub-registers in the countertenor voice". Aichi University of Education, 127-131.
- Izzo, Miguel. 1946. *Noções Elementares de Música* – 5a ed. São Paulo: Irmão Vitale.
- Jander, Owen. "Contratenor". 2001. In: *Sadie S. The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. 2nd ed. v.6. 373-74. London: Macmillian Publishers Limited.
- Kent, Raymond; Read, Charles. 1992. "Acoustic Theory of Speech Production". In: *The Acoustic Analysis of Speech*. 13-40. San Diego, California: Singular Publishing Group, Inc.
- Lindestad, Per-Åke, Södersten, Maria. 1988. *Laryngeal and pharyngeal behavior in countertenor and baritone singing - a videofiberscopic study*. *Journal of Voice*. 2: 132-9.
- Mansion, Madeleine. 1948. *El Estudio Del Canto: técnica de la voz hablada y cantada: pedagogía: método práctico, ejercicios explicados*. Buenos Aires: Ricordi Americana.
- Monteiro, M. C. 1995. "Uma análise computadorizada espectrográfica dos formantes das vogais orais do Português Brasileiro falado em São Paulo" [monografia]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo.
- Perelló, Jorge. 1975. *Canto e Dicción*. Barcelona: Editorial Científico-Médica.
- Pinho, Sílvia, Pontes, Paulo. 2008. *Músculos Intrínsecos da laringe e dinâmica vocal*. Série \*desvendando os segredos da voz. v. 1. Rio de Janeiro: Revinter.
- Pinho, Sílvia. 1998. "Avaliação e Tratamento da Voz". In: *Fundamentos em Fonoaudiologia*. 3-37. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Pinho, Sílvia. 2001. *Tópicos em Voz*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Rothenberg, Martin. 1986. "Cosi fan tutte and what it means or nonlinear source-tract interaction in the soprano voice and some implications for the definition of vocal efficiency". In: *Vocal Fold Physiology: Laryngeal Function in Phonation and Respiration*, 254-263, College Hill Press: San Diego.
- Rothenberg, Martin. 1988. "Acoustic Reinforcement of Vocal Fold Vibratory Behavior in Singing". In: *Vocal Physiology: Voice Production, Mechanisms and Functions*. 379-389, Raven Press: New York.
- Roubeau, Bernard, Nathalie Henrich e Michèle Castellengo. 2009. "Laryngeal Vibratory Mechanisms: The Notion of Vocal Register Revisited". *Journal of Voice*, 23(4): 425-438.
- Södersten, Maria, Lindestad, Per-Åke. 1987. *Vocal fold vibrations in countertenor singing*. *Acta Phon Lat*. 9: 19-22.

- Sundberg, Johan, Högset, Carl. 2001. *Voice source differences between falsetto and modal registers in counter tenors and baritones*. Logopedics Phoniatrics Vocology. 26: 26-36.
- Sundberg, Johan, Skoog, Jörgen. 1997. *Dependence of jaw opening on pitch and vowel in singers*. Journal of Voice, 11(3): 301-306.
- Sundberg, Johan. "Vocal Tract Resonance". 1991 In: *Sataloff, Robert. Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care*. 49-68. New York: Raven Press Ltd.
- Sundberg, Johan. 1974. *Articulatory interpretation of the "singing formant"*. The Journal of the Acoustical Society of America. 55(4): 838-44.
- Sundberg, Johan. 1987. *The Science of the Singing Voice*. DeKalb, Illinois: North Ill. Univ. Press.
- Sundberg, Johan. 2001. *Level and Center Frequency of the Singer's Formant*. Journal of Voice, 15(2):176-86.
- Sundberg, Johan. 2015. *Ciência da Voz: Fatos sobre a Voz na Fala e no Canto*. Tradução e revisão, Gláucia Laís Salomão. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Teixeira, Sylvio Bueno. 1970. *Estudos sobre a voz cantada*. Campinas: A P Editora.
- Titze, Ingo. 1994. *Principles of Voice Production*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Titze, Ingo. 2004. *A theoretical study of F0-F1 interaction with application to resonant speaking and singing voice*. Journal of Voice, 18(3): 292-98.
- Titze, Ingo. 2006. *The F0-F1 crossover exercise*. Journal of Singing, 62: 295-97.
- Tom, Kenneth; Titze, Ingo. 2001. *Vocal intensity in falsetto phonation of a countertenor: an analysis by synthesis approach*. The Journal of the Acoustical Society of America, 110(3):1667-76.
- Welch, Graham, MacCurtain, F. 1987. *The falsetto voice: An investigation of male professional singers*. Paper presented at the 16th Symposium on Care of the Professional Voice, June 1-5, New York, N.Y.
- Welch, Graham, Sergeant, D, MacCurtain, F. 1988. *Some physical characteristics of the male voice*. Journal of Voice, 2: 151-63.
- Wendler, J, et al. 1983. "Stroboglottometric and acoustic measures of natural voice registers". In: *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, v 1, 333-40, Stockholm: Royal Swedish Academy of Music.