

Aspectos Experimentais da Influência do Trato Vocal no Timbre da Flauta

Fabiana Moura Coelho

Resumo: A utilização de imagens mentais acerca da posição do trato vocal no timbre da flauta é um recurso muito comum entre os flautistas. Entretanto, o grande número de variáveis envolvidas e a complexidade desse mecanismo dificultam sua demonstração completa e objetiva. Estabelecemos um paralelo entre análises da fala que ressaltam que a configuração do trato vocal determina a inteligibilidade das vogais e o mecanismo utilizado pelos flautistas. Foi realizado um experimento com um modelo de embocadura em fibra de vidro no qual se procurou eliminar as variantes dos movimentos de mandíbula e lábios. A análise dos resultados obtidos indica indícios da existência de influência da posição do trato vocal na qualidade sonora da flauta. Entretanto, muito trabalho ainda é necessário para se entender esse processo de um ponto de vista científico.

Palavras-Chave: flauta, qualidade sonora, ressonância.

Experimental aspects of the relation between vocal tract and Flute

Abstract: The use of the vocal tract resonance as a tool for changing the sound character and color suggested in the scores is thoroughly used by flutists. Due to the complexity and the large number of involved variables, it was not possible yet to scientifically demonstrate the existence of the influence in the flute sound caused by this mechanism. An experiment was accomplished in which we tried to eliminate the variants of the jaw and lip movements. The analysis of the results of the experiment allowed us to conclude that there are elements to affirm that the configuration of the vocal influences the sound quality of the flute. However, a lot of work is still needed to understand the process from a scientific point of view.

Key words: flute, sound quality, resonance.

1. Introdução

A utilização de imagens mentais acerca da posição do trato vocal como ferramenta nas mudanças de timbre sugeridas nas partituras é recurso comum entre os flautistas. Entretanto, o grande número de variáveis envolvidas e a complexidade desse mecanismo dificultam sua demonstração completa e objetiva.

Do contato com flautistas que utilizam imagens mentais acerca da ressonância do trato vocal como ferramenta nas mudanças de caráter e cor sugeridas nas partituras e do estudo dos mecanismos de ressonância utilizados durante a emissão da voz, bem como da sua importância na inteligibilidade da

fala, especialmente das vogais, surgiu a motivação para a realização deste trabalho.

Trata-se, portanto, de uma busca de explicação científica para algo que a arte e a sensibilidade já tornaram ferramenta cotidiana dos profissionais da flauta transversal, visando à compreensão e consolidação desse conhecimento.

2. Produção vocal

Os órgãos de produção vocal, segundo Sundberg (1979), o sistema respiratório, as pregas vocais e o trato vocal¹, podem se vistos como um modelo fonte-filtro, no qual o resultado acústico da vibração das pregas vocais (fonte) é modificado pelo trato vocal (filtro), que pode amplificar certas regiões do som e amortecer outras, o que modifica sua forma espectral e concede a cada som determinado timbre característico.

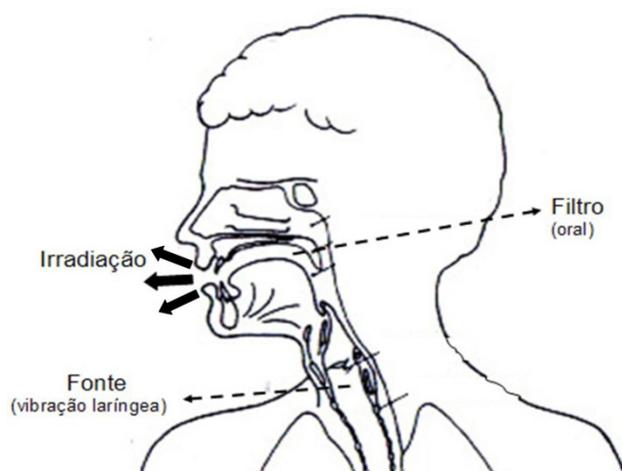


FIG. 1 – Modelo fonte-filtro. Fonte: VIEIRA, 2004, p.71

O trato vocal modifica a configuração espectral som produzido pelas pregas vocais, independentemente da frequência fundamental de emissão. De acordo com a posição da língua, palato e lábios, são acrescentadas regiões de ressonância ao sinal inicial, o que faz com que a onda sonora modificada pelo filtro (trato vocal) seja bem mais complexa que a produzida na fonte (pregas vocais). Essas regiões de ressonância acústica do trato vocal são denominadas

¹O trato vocal compreende toda a estrutura delimitada posteriormente pelas pregas vocais e anteriormente pelos lábios e narinas. É um tubo contínuo com, em média, 3 cm de diâmetro e 17 cm de comprimento, formado pela cavidade nasal, região de rinofaringe (nasofaringe ou cavum), cavidade oral, região de orofaringe e laringe. (PINHO, 1998)

formantes, que se mostram como picos de frequência no espectro do som irradiado pelos lábios (SUNDBERG, 1979).

As diferenças espectrais entre sons vocais variados surgem quando o som da fonte vocal é transmitido através do trato vocal, isto é, das pregas vocais à abertura labial. A razão disso é que a habilidade do trato vocal em transmitir som é altamente dependente da frequência do som transmitido. Essa habilidade culmina em certas frequências, chamadas frequências de formantes. (SUNDBERG, 1979)

As vogais são identificadas pela posição de seus formantes² (BEHLAU, 2001). A posição dos dois primeiros formantes é suficiente para a definição da maior parte das vogais (SUNDBERG, 1979; BEHLAU, 2001).

Os valores dos formantes representam as frequências naturais de ressonância do trato vocal na posição articulatória específica da vogal falada (...). A descrição das vogais quase nunca ultrapassa a identificação dos três primeiros formantes, sendo que são as frequências dos dois primeiros formantes que determinam a qualidade vocal, em termos acústicos, e sua identidade, em termos auditivos. (BEHLAU, 2001)

A produção das vogais depende essencialmente dos mecanismos articulatórios, como lábios, língua, véu palatino, mandíbula e laringe. O grau de abaixamento da mandíbula e da língua, ou grau de abertura de uma vogal, está relacionado diretamente com o primeiro formante. O grau de anteriorização da vogal e deslocamento antero-posterior da língua tem relação com o segundo formante (BEHLAU, 2001).

De modo geral, o grau de abertura de uma vogal, ou seja, o abaixamento da mandíbula e, conseqüentemente, da língua, tem relação direta com o primeiro formante, que é tão mais agudo quanto maior for a abertura de boca; o grau de anteriorização da vogal, ou seja, o quanto a faringe está livre ou não, pelo deslocamento da língua, tem relação direta com o segundo formante, que é mais alto quanto maior o espaço laríngeo. (BEHLAU, 2001)

A posição (frequência) dos formantes pode variar, dentro de certos limites, sem comprometer a inteligibilidade da vogal emitida. A região de caracterização das vogais de acordo com os dois primeiros formantes pode ser descrita pelo seguinte gráfico:

²Formantes são definidos como bandas de frequência que sofrem ganho quando alteradas pelo trato vocal. Em um espectrograma, podem ser vistos como picos de intensidade em determinadas frequências. Os formantes amplificam seletivamente os harmônicos gerados pela vibração laringea. (VIEIRA, 2004)

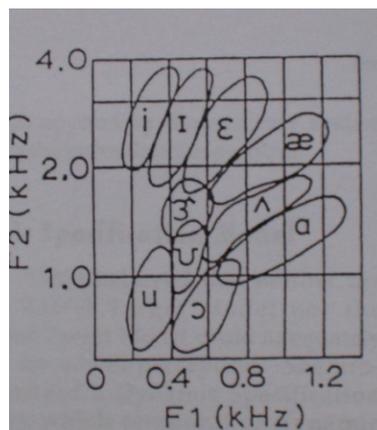


FIG. 2 – região de caracterização das vogais de acordo com os dois primeiros formantes. A escala de frequência de F2 é logarítmica. Fonte: SUNDBERG, 1979.

A FIG. 2 apresenta as principais vogais da língua inglesa, sendo justificada sua utilização neste trabalho por conter algumas das principais vogais da língua portuguesa, como o [u], [ɔ], [ɑ], [ε] e [i].

Para a caracterização da vogal [u], nota-se o primeiro formante (simbolizado por F1) entre 0,19 e 0,4 kHz e o segundo formante (simbolizado por F2) entre 0,3 e 1,25 kHz. Há, assim, não somente um ponto de caracterização da vogal, mas toda uma região em que esta se torna inteligível. Os valores de frequência dos formantes das vogais podem ser associados à região de constricção do trato vocal (F1) e ao avanço da língua em direção ao lábio (F2). A vogal [u] e também a vogal [ɔ] são classificadas como posteriores, devido ao arredondamento dos lábios e o recuo da língua, o que alonga o trato vocal e abaixa a frequência do primeiro e do segundo formantes, respectivamente.

A vogal [i] apresenta o primeiro formante entre 0,19 e 0,44 kHz e o segundo formante entre 2,0 e 3,8 kHz. Nota-se que a língua se mantém em posição análoga à da vogal [u], quando se considera a dimensão antero-posterior, o que explica a posição de F1. A constricção do trato vocal é anteriorizada, passando dos lábios à base da língua, o que reduz o comprimento do trato vocal. Esta alteração faz com que os valores de frequência de F2 se elevem e classifica a vogal [i], assim como a vogal [ε], em anterior.

A vogal [ɑ] exibe valores intermediários para os dois primeiros formantes: entre 0,7 e 1,3 kHz para F1 e entre 0,7 e 1,75 kHz para F2. Isto

demonstra a posição mediana da língua em relação aos lábios e abertura igualmente distribuída do trato vocal.

Assim, as vogais podem ser dispostas em três grupos distintos, de acordo com a região de constrição do trato vocal. As vogais posteriores, [ɔ] e [u], anteriores, [i] e [ɛ] e uma vogal média, [a]; como exposto pela FIG. 3.

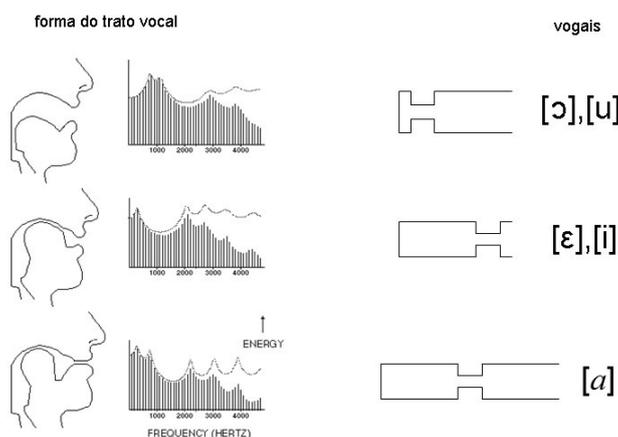


FIG. 3 – forma do trato vocal e vogais correspondentes. Fonte: KENT e READ, 2001, p. 17, com adaptações.

3. A produção do som e o trato vocal: fundamentação teórica

Alguns trabalhos já relacionaram a qualidade sonora de instrumentos de sopro à configuração do trato vocal. Mike Macmahon [s.d.] descreve a influência da fonética na produção do som na flauta transversal. Em seu artigo, intitulado *Throat resonance, vowel sounds*, ressalta que os sons vocálicos não são apenas as vogais outrora aprendidas na escola, mas sons produzidos com pouca ou nenhuma obstrução da coluna de ar, havendo, assim, centenas de possibilidades de sons vocálicos. Isso abre a perspectiva de realização de inúmeras modificações no som da flauta, estando este associado à posição do trato vocal na produção das vogais, chamando atenção para um papel mais abrangente da língua.

Quase tudo que é dito (nos livros, pelo menos) sobre a língua enquanto tocamos flauta, parece ter a ver com “t” e “k” (ou “d” e “g”). Eu pensei por muito tempo – e particularmente ao ouvir o Jimmy [James Galway] – que nós temos que conscientemente considerar o papel da língua na discussão sobre as diferentes espécies de som da flauta: isso não deveria ser apenas ignorado como uma questão de menor importância. (MACMAHON, [s.d.]

Macmahon [s.d.] explica que através de pequenas mudanças na posição da língua, diferentes sons vocálicos podem ser produzidos, o que significa que ajustes na língua afetam a coluna de ar e a forma como ela atinge os lábios e a flauta. Esse tipo de ajuste pode ser usado para se obter diferentes cores no som da flauta. Para tornar possíveis esses ajustes na língua sem que isso afete a posição da mandíbula, como acontece na fala, e conseqüentemente, prejudique a embocadura na flauta, o autor sugere que os flautistas façam como os ventríloquos, posicionando a boca em uma forma estática.

Em seguida, o autor esclarece que essas mudanças de ressonância no trato vocal, para a fala, são mudanças nos formantes e estes podem ser analisados em programas de computador específicos. Embora a forma, ou contorno dos formantes mantenha-se praticamente o mesmo, a frequência em Hz de seus picos depende da forma e do tamanho do trato vocal, ou seja, diferem entre homens, mulheres e crianças. Porém, o autor não demonstra como os ajustes da língua e da laringe, ou seja, ajustes nas cavidades do trato vocal alterariam a qualidade do som produzido na flauta transversal. Faz considerações apenas sobre a importância das vogais, com enfoque somente na velocidade e ângulo, evitando focar a pertinência ou não da influência ressonante.

No artigo *The relation between the vocal tract and the recorder sound quality*, Dan Laurin (1998) propõe que o tamanho e a forma do trato vocal influenciam o timbre da flauta doce. Para investigar tal influência, são realizados alguns testes de medição de transferência acústica, inicialmente desenvolvidos para pesquisas em fala. Nos testes, o bocal do instrumento foi acoplado a um tubo, e este conectado a um gerador acústico. O som foi captado por um microfone, que tinha a função de enviar os sinais para o computador no qual um *software*, especialmente desenvolvido para este trabalho, mostrava os resultados.

Depois de escolhidas as notas que seriam analisadas, cada uma delas foi gravada três vezes, e os resultados apreciados.

A primeira tarefa foi descobrir onde e para o que olhar. Nós decidimos quais notas investigar, uma vez que as alterações de registro e posições algo irregulares da flauta doce tornam necessárias diferentes pressões de ar. Eu busquei, então, produzir dois timbres opostos em cada nota, uma vez que a polarização extremada possivelmente se mostraria mais claramente na tela.

Cada nota e timbre foram gravados três vezes e o resultado mostrado na tela foi salvo. (LAURIN, 1988)

Os dois tipos de timbre escolhidos pelo autor foram denominados *thick*, para uma posição de palato relaxada e, de acordo com o mesmo, *um som de flauta doce bonito e musical*, e *thin*, com o palato o mais elevado possível. Essa medição torna-se, assim, um tanto subjetiva. Qual seria a definição para um som *belo e musical*? Não há um parâmetro de medida, já que Laurin ressalta ainda que essa posição do palato para um som *thick* é variável, sendo que o instrumentista elevaria o palato quanto mais aguda fosse a nota tocada.

O timbre thick não foi produzido com o palato na mesma posição para todas as notas. Pelo contrário, eu me esforcei em produzir um som musicalmente viável, e me deixei guiar por meu gosto musical e pelo que eu considero ser “um bom e musical som de flauta doce”. Em termos simples, eu elevei o palato um pouco mais à medida que a nota que eu estava tocando fosse mais aguda. (LAURIN, 1988)

O autor descreve que foi feita uma adaptação na configuração da leitura do espectro, que a princípio estava configurado para frequências que caracterizam as vogais durante a fala, em torno de 300 Hz a 3,5 kHz. Nessa região, segundo o autor, não haveria influência de reprodução no espectro do som resultante na flauta.

A preparação do experimento, pelo exame da amplitude da frequência que caracteriza diferentes vogais, isto é, de 300 Hz a 3,5 kHz, demonstrou que enquanto as diferentes configurações do trato vocal produzem grandes alterações na resposta do trato vocal [sic], há pouca diferença de reprodução no espectro do som resultante nessa faixa de frequência. Em síntese, nós estávamos procurando no lugar errado. (LAURIN, 1988)

A partir de então, os espectrogramas foram gerados com medições até 10 kHz, cujos gráficos são abordados no artigo. O primeiro desses gráficos representa a nota C6 (considerando-se C4 ou dó 4 como dó central) com som *thick* e a posição do trato vocal como se produzisse a vogal [a], e o seguinte, com o palato mais elevado possível, a mesma nota C6. O autor acredita que somente alterações em torno de 10 kHz teriam influência no timbre da flauta. Com isso, afirma que, na flauta doce contralto, que possui fundamentais a partir de 349 Hz (F4), alterações nas fundamentais e nos primeiros harmônicos de toda sua extensão não teriam influência sobre o timbre.

O autor descreve as diferenças entre os dois gráficos e conclui que as principais mudanças de timbre ocorrem em torno de 5 kHz, e que o som denominado *thin* possui parciais mais fortes entre 6 – 8 kHz. É feito ainda um experimento semelhante com a escala cromática, com resultados, segundo o autor, similares.

A partir desses resultados, Laurin conclui que a produção de diferentes timbres na flauta doce não estaria associada às diferentes posições assumidas pelo trato vocal na produção das vogais. Ele justifica que as alterações nos sons vocálicos estão associadas a frequências em torno de 3,5 kHz e que o som da flauta doce dependeria de frequências mais altas, descartando, dessa forma, qualquer alteração nas fundamentais e nos primeiros harmônicos. Entretanto, ressalta o autor, os sons vocálicos podem ser utilizados na produção de diferentes efeitos no som da flauta doce. Este sugere, ainda, que as mudanças de timbre detectadas estariam ligadas a alterações na pressão e na turbulência do ar utilizado.

A posição do trato vocal para o som thick causa turbulência na passagem do ar. Isso significa que mais pressão é requerida para a mesma quantidade de ar fluir. É muito provável, embora não seja certo, que o executante precise manter o fluxo de ar razoavelmente constante para controlar a afinação. Em razão dos músicos possuírem um grau de preparação que os leva a intuitivamente tocar afinado, suprem essa pressão extra sem sequer notar que o estão fazendo (afinal, a variação não é grande). A turbulência gera um ruído de ar que gera o sinal no gráfico. Pode ser que essa turbulência obscureça a frequência do gráfico entre 6 e 8 kHz, ou pode ser o resultado de uma interação entre o segundo harmônico da passagem do ar e o trato vocal ao qual ela está conectada. (LAURIN, 1988)

Todavia, temos que o resultado do experimento realizado por Laurin poderia ter sido explorado levando-se em consideração que mudanças na ressonância alterariam toda a forma do espectro, inclusive as fundamentais e seus primeiros harmônicos, afetando o timbre da flauta em razão da amplificação e amortecimento de determinadas regiões de frequência, independentemente da altura dos sons.

Roger Mather (1998) escreve sobre a utilização da ressonância da garganta, nariz e boca para a produção do som na flauta em seu artigo *Your Throat, sinus and Mouth Resonances: Friends or Foes?*. O autor afirma que o ar contido nessas cavidades ressoa. Reforça ainda que o trabalho que se pode aplicar é o de se ajustar o tamanho da cavidade para que a altura que ressoa seja

a mesma que é tocada, concedendo assim, mais força, foco e, segundo o autor, expressividade ao som.

O ar nessas cavidades ressoa queira você ou não. Sua função é ajustar o tamanho das cavidades de maneira que a altura que ressoa esteja tão próxima quanto possível da altura que você está tocando. Isso fortalece e foca o som. Melhora a qualidade, a pureza (para mais atratividade) e a intensidade (para melhor expressão e projeção). A flauta responde mais rapidamente. Você se sente mais comprometido, mais pessoalmente envolvido – e você realmente está! – uma vez que sua execução é mais expressiva. A platéia sente que está ouvindo um ser humano e não um tubo de metal. (MATHER, 1998)

Mather defende que muitos flautistas experientes utilizam essas ressonâncias com diferentes métodos, conscientes ou inconscientes. A flauta é o instrumento que, segundo o autor, melhor aproveita a ressonância das cavidades oral e nasal, a qual pode ser utilizada por todos os instrumentos da família das madeiras e metais, porque possui, dentre todos estes, o som mais menos potente.

O autor ressalta ainda que as ressonâncias atuam independentemente entre si e dá a entender que há diferentes técnicas para se utilizar os diferentes tipos de ressonância, podendo ou não o flautista ser ajudado por um tipo de técnica ou por um tipo de ressonância. Todavia, neste ponto do texto os conceitos se confundem, não restando claro se o fato de determinada técnica não favorecer determinado flautista decorreria do fato deste não realiza-la de forma correta, ou daquela não ser adequada ao tamanho e à forma das partes do seu corpo.

Em seguida, o autor apresenta cada técnica e cada atividade ressonadora aplicada às diferentes partes das cavidades oral e nasal, seguindo sua exposição de forma a enfatizar o caráter didático, em detrimento de aspectos científicos.

Mather faz ainda considerações sobre a aplicação da forma das vogais na boca com o objetivo de adequar seu formato para a realização de determinado nível de dinâmica e afinação. O texto sugere vogais determinadas para o que considera um melhor aproveitamento sonoro de determinados níveis de intensidade e altura.

Dessa forma, apresenta uma série de vogais que se adequariam a dinâmicas e intervalos específicos, dentro da extensão da flauta. Por exemplo,

entre o B3 e o F#4, o autor sugere que seja utilizada a vogal [ɔ] para dinâmicas entre mp e p, e a vogal [a] para dinâmicas entre pp e ppp. Afirma:

Notas graves requerem fundamentais fortes e por isso são melhor produzidas pelas vogais do início da série (u - o). As fundamentais de notas acima da oitava mais grave são harmônicos e assim são produzidas melhor pelas vogais finais (a - e). Notas intensas geralmente têm parciais suficientes, de maneira que as vogais iniciais lhes são adequadas. Para projeção de notas fracas é preciso um aumento de parciais através das vogais finais. (MATHER, 1998)

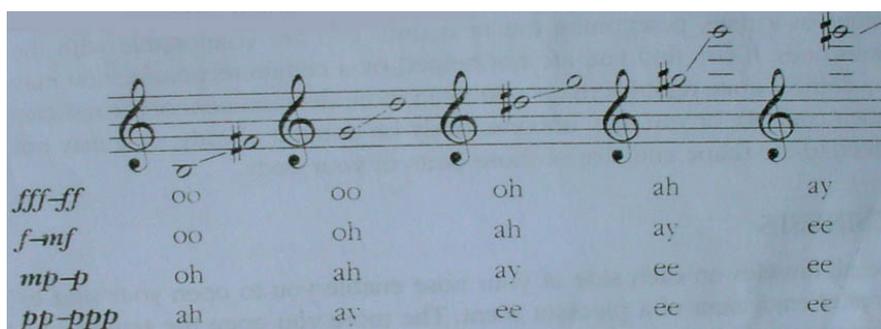


FIG. 4 – esquema de utilização das vogais em determinadas regiões e intensidades sugerido por Mather. Fonte: MATHER, 1998.

É possível estabelecer um paralelo entre a FIG. 4 acima, que demonstra o esquema de utilização das vogais sugerido por Mather (1998) e a FIG. 2, na qual Sundberg (1979) descreve a região de caracterização das vogais de acordo com os dois primeiros formantes.

Notamos que, na região mais grave da flauta (de Si 3 a Fá # 4, ou 247 a 370 Hz), com dinâmicas de *fff* a *ff* e de *f* a *mf*, o autor propõe a utilização da vogal [u] ou oo [sic]. De acordo com a FIG. 2 percebemos que a vogal [u] apresenta os mais baixos valores de F1 e F2 dentre as demais, o que favoreceria a emissão das frequências mais graves, exatamente aquelas escolhidas por Mather (1998). O mesmo ocorre nas demais vogais sugeridas.

Na seção dedicada à boca e garganta, o autor afirma que a boca funciona, em termos de ressonância, como uma garrafa vazia e que, ao contrário da flauta e dos outros instrumentos de sopro, possui uma cavidade bastante ampla em relação ao seu comprimento. Esclarece ainda que a abertura bucal que conta para os flautistas é aquela que leva à garganta, pois a abertura dos lábios seria muito pequena para ter algum efeito na ressonância.

Sugere posições de língua para determinadas alturas e conclui que o volume da cavidade oral é determinado pela posição da língua em relação ao palato duro, a posição do palato mole e das bochechas.

O artigo é concluído com algumas considerações sobre como realizar as mudanças sugeridas no decorrer do texto para a utilização da ressonância das cavidades oral e nasal, de forma bastante didática.

Sugere, ainda, como a utilização da ressonância do corpo aplicada à atividade musical na flauta contribui para melhorar a afinação e o controle de dinâmica, entretanto, sem mencionar as alterações de qualidade e cor do som. Termina com considerações sobre a melhoria do som na flauta em decorrência da aplicação das técnicas apresentadas. Tais considerações traduzem-se em simples conselhos aos flautistas sobre como aplicar a técnica exposta, sem esclarecer seus fundamentos.

A forma de iniciar a execução de uma nota decorre muito de suas características. Assim, para um intervalo grande, seja com ataque de língua ou ligado, comece mudando sua ressonância (assim como sua embocadura) um pouco antes do final da primeira nota. Desse modo, você começará a segunda nota com afinação adequada, intensidade e qualidade sonora, tudo perfeitamente no lugar. Se você esperar que a primeira nota esteja totalmente terminada – a tendência natural, lamentavelmente – o início da segunda nota será desafinado, fraco ou sujo.

Observa-se, afinal, que, apesar de o autor tentar abordar de forma objetiva o problema da utilização das ressonâncias na alteração do caráter sonoro da flauta, limitando-se a uma abordagem mais subjetiva do tema.

4. Experimento

A fundamentação teórica exposta acima demonstrou a existência de indícios de que, verdadeiramente, haveria uma influência da posição do trato vocal na qualidade da flauta. Demonstrou, ainda, a existência de uma preocupação em explicar cientificamente a ocorrência dessa relação. Contudo, apresentou-se como insuficiente para que se pudesse afirmar, de pronto, a veracidade da mesma, seja por não abordar diretamente a questão (Macmahon), por limitações dos paradigmas utilizados para o experimento (Laurin) ou por ausência de rigor científico (Mather).

Assim, iniciou-se a preparação de um experimento que pudesse denotar, com maior grau de certeza, a existência ou inexistência de influência do trato vocal sobre a qualidade sonora da flauta transversal.

Considerando-se a dificuldade em se separar os movimentos de lábio e mandíbula quando o flautista realiza as modificações em seu trato vocal, e que estes movimentos têm forte efeito sobre a qualidade sonora da flauta, foi proposta a construção de um *soprador* acoplado a um trato vocal artificial, que eliminaria esse tipo de influência, ajudando também na determinação da forma do jato de ar, que pode modificar a afinação do som produzido na flauta transversal.

Desse modo, se torna possível isolar e mensurar exclusivamente as alterações do trato vocal, uma vez que são mantidas constantes a posição dos lábios e da mandíbula, bem como o fluxo de ar.

4.1. Experiência preliminar

Realizou-se uma experiência preliminar na qual garrafas plásticas de 500 ml foram acopladas a pequenas mangueiras maleáveis de 1 cm de diâmetro. As mangueiras simulavam o efeito dos lábios sendo colocadas sobre o bocal da flauta. Insufiou-se ar, então, pelo orifício oposto da garrafa, de forma que incidisse na parede frontal do orifício em que foi acoplada a mangueira, gerando som. O primeiro dispositivo construído teve a mangueira acoplada à porção central do fundo da garrafa plástica, como mostra a FIG. 5b. Foi construído ainda um segundo dispositivo que contava com a mangueira na porção mais lateral do fundo da garrafa. Posteriormente, pôde-se verificar que, apesar das mangueiras acopladas em posições diferentes do fundo das garrafas plásticas, as duas apresentavam os mesmos resultados, qual seja, a produção de som.

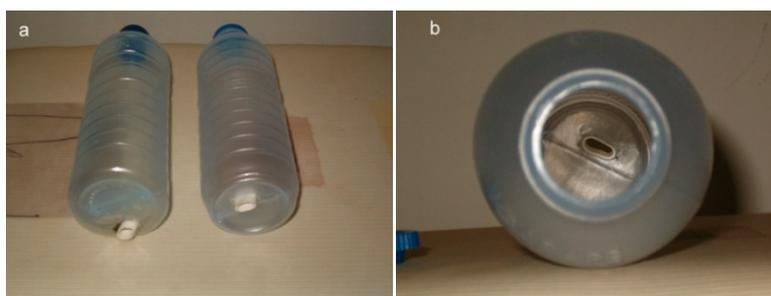


FIG. 5 – garrafas plásticas utilizadas para simular o efeito dos lábios e do trato vocal quando da incisão do ar na flauta transversal: a) aspecto geral, b) detalhe

Parte do orifício do bocal da flauta teve que ser coberto para melhor simular a porção externa dos lábios, em consonância com a exposição de Quantz (1752), que trata do avanço dos lábios sobre o orifício da embocadura. O autor sugere quatro linhas horizontais que representam a posição dos lábios sobre o orifício da embocadura.

A segunda linha inferior indica o meio e o quanto da embocadura deve ser coberto com os lábios para o Ré”[sic]. A linha inferior mostra quão distante ambos os lábios devem recuar para produzir o Ré’ [sic]. A terceira linha indica o quanto os lábios devem avançar para o Ré”[sic]. E a quarta linha (...) mostra quão mais adiante os lábios devem avançar para o Sol”[sic]. (QUANTZ, 1752)

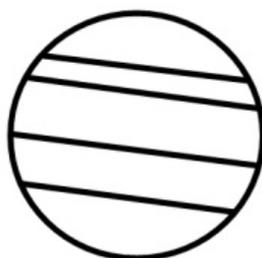


FIG. 6 – posição dos lábios para diferentes registros na flauta transversal. Fonte: QUANTZ, 1752, p. 53.

Portanto, parte da abertura do bocal foi coberta com fita adesiva, de acordo com a nota esperada, como sugerido por Coltman (1966): “Para simular a cobertura dos lábios, uma fita plástica curva de 3 mm de espessura foi fixada ao porta lábios como uma forma de reproduzir o modelo humano”. Notou-se a necessidade da utilização de um bocal de fibra de carbono³, menos suscetível a sofrer danos em decorrência do processo de montagem do experimento.

Desta forma, mostrou-se possível e viável simular um trato vocal como o representado pela garrafa plástica que, modificado, poderia gerar alterações na qualidade sonora da flauta desvinculadas de alterações na mandíbula e no fluxo de ar, uma vez que foi possível produzir som na flauta de maneira desvinculada de tais influências.

³Embora não seja um material comumente empregado na confecção de bocais de flauta transversal, a fibra de carbono vem sendo utilizada com bons resultados por Leonardo Fuks, que produziu o bocal utilizado neste trabalho

4.2. Experimento final

A etapa seguinte do experimento consistiu em acoplar à flauta um equipamento que melhor simulasse as alterações do trato vocal, eliminando-se as variantes dos movimentos de mandíbula, lábios e fluxo de ar.

Foi elaborado um modelo de embocadura em fibra de vidro com ângulo e abertura medianos utilizados na flauta transversal. O modelo em fibra de vidro foi feito a partir de moldes em atadura gessada colocados diretamente sobre os lábios. Estes moldes, que permitem grande precisão em relação ao modelo original, foram então recobertos com fibra de vidro. Depois de seca, a fibra de vidro se desprende do molde original e forma um modelo bastante semelhante ao natural, como evidenciado pela FIG. 7.



FIG. 7 – modelo de embocadura em fibra de vidro: a) visão frontal, b) visão lateral

Este modelo de embocadura foi então colado ao bocal da flauta, do que decorreu a necessidade da utilização de um bocal de fibra de carbono⁴, menos suscetível a sofrer danos em decorrência desse processo.

Posteriormente ao modelo de embocadura de fibra de vidro, foi acoplado um trato vocal artificial feito em PVC. Para simular a constrição do trato vocal, que naturalmente é praticada com a língua, foi construído um anel em metal. Este anel movimenta-se dentro do modelo de trato vocal estimulado por um ímã colocado na parte externa do tubo. Estes detalhes podem ser mais bem visualizados por meio das figuras 8 e 9.

⁴Embora não seja um material comumente empregado na confecção de bocais de flauta transversal, a fibra de carbono vem sendo utilizada com bons resultados por Leonardo Fuks, que produziu o bocal aqui utilizado.

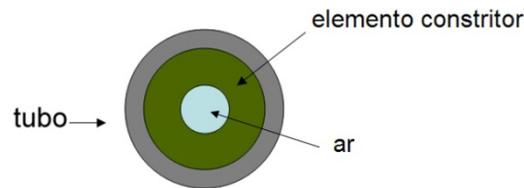


FIG. 8 – corte transversal do modelo de trato vocal.

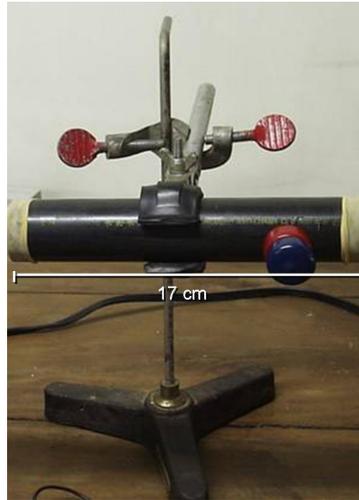


FIG. 9 – visão lateral do modelo de trato vocal.

Este modelo de trato vocal é amplamente utilizado em pesquisas sobre a fala. Kent e Read (2001) afirmam sua validade:

Para introduzir a teoria acústica de produção da fala, utilizaremos um aparato que não se parece muito com um trato vocal humano. (...) Para tornar esse exemplo relevante ao estudo da produção da fala humana, precisamos notar duas coisas: (1) um trato vocal médio de um homem tem 17,5 cm da glote aos lábios e (2) o trato vocal tem, aproximadamente, a mesma frequência de ressonância de um tubo reto do mesmo comprimento e diâmetro. Isto é, o simples aparato em forma de cano mostrado na FIGURA 2-25 é um modelo satisfatório para uma vogal em particular da fala humana. (...) Para que este modelo possa representar outras vogais, a área de constricção deve ser variada no sentido do comprimento do tubo, de modo a aproximar a configuração do trato vocal da vogal desejada. (...) Todas as vogais em Inglês podem ser moldadas, ainda que rudimentarmente, pela modificação apropriada da configuração do tubo reto.

O trato vocal artificial está ligado a um sistema de ar comprimido. O fluxo, ajustado manualmente, foi monitorado com um fluxômetro para ar comprimido, 0/15l/min, bilha longa, mantendo o fluxo de ar constante durante as medições, eliminando também esta variável. O experimento foi realizado no

⁵A FIG. 2.2 referida pelo autor mostra um tubo reto, exatamente como na FIG. 9.

Laboratório de Física Experimental do Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas (ICEX), Universidade Federal de Minas Gerais.



FIG. 10 – fluxômetro utilizado no experimento.

4.3. Resultados

Os resultados obtidos neste experimento foram gravados com um microfone AKG D60S posicionado a cerca de 20 cm do bocal e apontado para a região entre o porta lábios e as chaves, de acordo com o sugerido por Garcia (2000), como comprova a FIG. 11.



FIG. 11 – posicionamento do microfone.

Foram gravadas amostras em três situações distintas: a primeira, utilizando apenas o bocal da flauta, gerou uma fundamental em 1000 Hz⁶; a segunda, utilizando toda a flauta, com as chaves posicionadas para a emissão da nota Si, gerou uma fundamental em 480 Hz e, finalmente, a terceira, também

⁶O valor dessa frequência se justifica pelo fato de que foi utilizado no experimento um bocal de fibra de carbono um pouco mais curto que os bocais tradicionais de flauta, que geralmente apresentam frequência em torno de 880 Hz.

utilizando toda a flauta, com as chaves posicionadas para a emissão da nota Lá, gerou uma fundamental em 430 Hz.

Utilizando apenas o bocal da flauta, foram gravadas quatro amostras. Em todas elas, o fluxo no qual se obteve resposta sonora do instrumento foi maior que a capacidade de medição do fluxômetro utilizado. Assim, as amostras de bocal livre foram realizadas com a medição do fluxômetro saturada. Devido à imprecisão do aparelho e à dificuldade em se estabelecer rigidamente um fluxo no qual o instrumento apresentasse resposta sonora, as medições de fluxo apresentadas neste trabalho são apenas aproximadas.



FIG. 12 – medição saturada do fluxômetro para as amostras de bocal livre.

A primeira amostra foi gravada fazendo-se uma varredura do modelo de trato vocal com o elemento constritor. Assim, o imã foi movimentado entre $(1,0 \pm 0,5)$ cm e $(15,0 \pm 0,5)$ cm a partir da porção anterior, ou seja, mais próxima ao bocal da flauta⁷.

A partir do espectrograma obtido nesta gravação, podem-se verificar as marcantes alterações ocorridas. Notam-se três seções distintas, como apontado na Fig. 13.

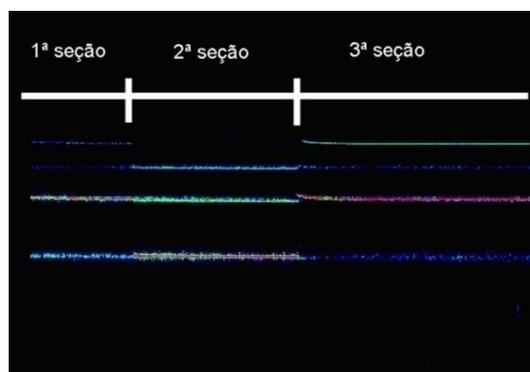


FIG. 13 – varredura completa do tubo do trato vocal com bocal livre.

⁷ $\pm 0,5$ cm indica a margem de erro da medição da posição do elemento constritor (anel metálico).

A primeira seção, com o elemento constritor do modelo de trato vocal deslocando-se a partir da porção mais próxima do bocal da flauta, expõe o primeiro parcial (1000 Hz), segundo (2000 Hz), bastante acentuado, o terceiro (3000 Hz) e o quarto parcial (4000 Hz). Na segunda seção, com o anel metálico um pouco mais afastado do bocal da flauta, notamos que o primeiro parcial acentuou-se, como também o terceiro. O segundo e o quarto parciais foram atenuados, sendo que este quase desapareceu. A terceira seção, com o elemento constritor atingindo a porção do modelo de trato vocal mais afastada do bocal da flauta, expõe o primeiro parcial bastante atenuado, o segundo parcial muito acentuado, o terceiro parcial levemente atenuado e o quarto parcial consideravelmente acentuado. Detectada a existência de três seções distintas bastante definidas, decidiu-se gravar separadamente um ponto dentro de cada uma destas seções, ainda utilizando apenas o bocal livre.

O primeiro ponto foi estabelecido em $(3,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é indicado na FIG. 14.

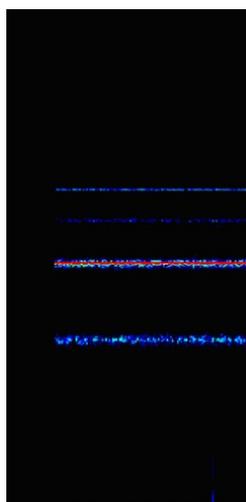


FIG. 14 – ponto dentro da primeira seção com o bocal livre.

Observamos que foi mantida forte semelhança com o visualizado na primeira seção da varredura: quatro parciais, sendo que o segundo parcial manteve-se como o mais acentuado

O segundo ponto foi estabelecido em $(7,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é indicado na FIG. 15.

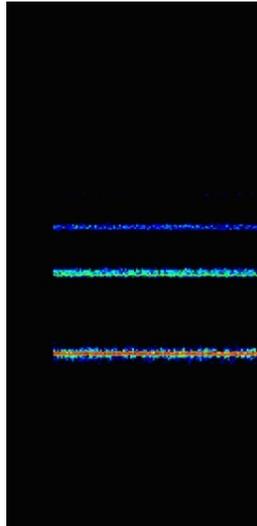


FIG. 15 – ponto dentro da segunda seção com o bocal livre.

O resultado, mais uma vez, foi coerente com o exibido na varredura completa do modelo de trato vocal: o primeiro parcial acentuou-se, assim como o terceiro parcial. O segundo e quarto parciais foram atenuados, sendo que este quase desapareceu. Notamos, ainda, que houve uma pequena queda na afinação em relação à primeira seção com o bocal livre.

O terceiro ponto foi estabelecido em $(12,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é indicado na FIG. 16.

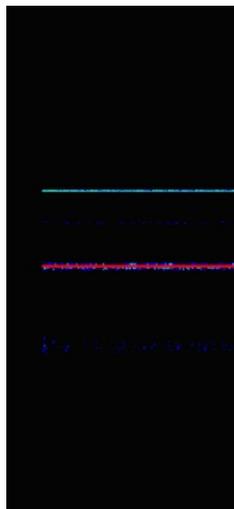


FIG. 16 – ponto dentro da terceira seção com o bocal livre.

O resultado apresentou-se coeso ao da varredura: atenuação do primeiro e terceiro parciais e acentuação do segundo e quarto parciais. Observa-se também que a afinação eleva-se um pouco em relação à segunda seção, retomando os valores da primeira seção.

As amostras seguintes foram gravadas utilizando toda a flauta, com as chaves posicionadas para a emissão da nota Si 4. Com esta posição das chaves, obteve-se uma fundamental em 480 Hz. Novamente, foram gravadas quatro amostras. O fluxo no qual se obteve resposta sonora adequada⁸ do instrumento foi 13l/min.

A primeira dessas amostras foi gravada fazendo-se uma varredura do modelo de trato vocal com o elemento constritor. Portanto, o ímã foi movimentado entre $(1,0 \pm 0,5)$ cm e $(15,0 \pm 0,5)$ cm a partir da porção mais próxima ao bocal da flauta.

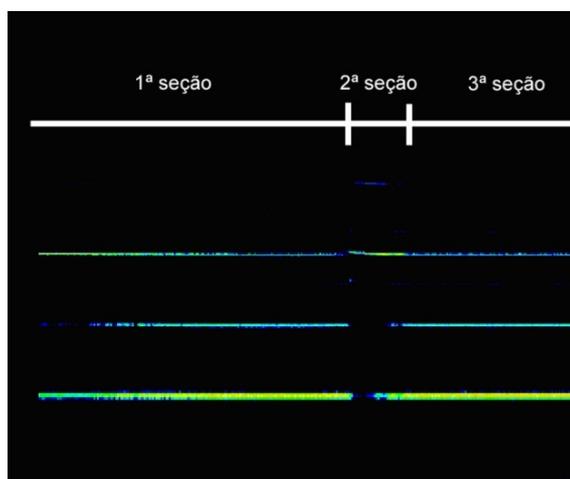


FIG. 17 – varredura completa do tubo do trato vocal com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Si

Novamente, foram marcantes as alterações, podendo-se perceber três seções distintas, como demonstrado na FIG. 20. A primeira seção expõe o primeiro parcial (480 Hz), o segundo parcial (960 Hz) e o terceiro parcial (1920 Hz). Na segunda seção o segundo parcial desaparece, o primeiro parcial mostra-se bastante atenuado e acentua-se a presença do quarto parcial. Evidencia-se, além disso, a presença de outros três parciais: o terceiro (1440 Hz), o quinto (2400 Hz) e o oitavo (3740 Hz). Na terceira seção notamos a presença acentuada do primeiro parcial (480 Hz), o reaparecimento do segundo parcial (960 Hz), a presença do terceiro (1440 Hz) e quinto parciais (2400 Hz).

Um ponto em cada uma dessas seções foi gravado separadamente, ainda com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Si. O primeiro

⁸Foi considerada adequada a resposta sonora do instrumento mais próxima à frequência equivalente à nota representada pela posição das chaves.

ponto foi estabelecido em $(1,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é apontado na FIG. 18.

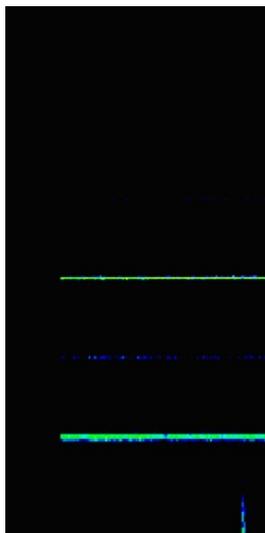


FIG. 18 – ponto dentro da primeira seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Si

É clara a semelhança mantida com a primeira seção da varredura: primeiro (480 Hz), segundo (960 Hz) e quarto (1920 Hz) parciais; destes, os que se mostram mais acentuados são o primeiro e o quarto parciais. Notamos ainda a presença, bastante atenuada, do oitavo parcial (3740 Hz).

O segundo ponto foi estabelecido em $(7,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. A FIG. 19 indica os resultados obtidos.

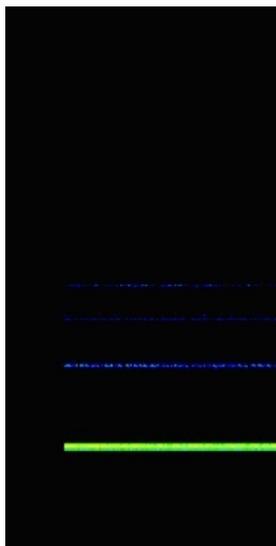


FIG. 19 – ponto dentro da segunda seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Si

Os resultados obtidos nesta ocasião apresentaram-se um tanto diferentes do que foi mostrado na segunda seção da varredura completa do tubo do modelo de trato vocal. Notamos aqui a presença do primeiro parcial (480 Hz), segundo parcial (960 Hz), terceiro parcial (1440 Hz) e quarto parcial (1920 Hz). O primeiro parcial mostra-se bem definido, com os demais atenuando-se gradativamente. Verifica-se que, também neste caso, a afinação sofre uma leve queda, como mostrado pela FIG. 24.

O terceiro ponto foi estabelecido em $(10,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é sugerido pela FIG. 20.

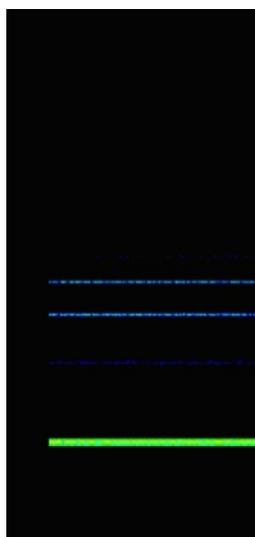


FIG. 20 – ponto dentro da terceira seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Si

O resultado desta amostra foi coerente com o exibido na varredura completa do tubo do modelo de trato vocal: vemos o primeiro parcial acentuado, o segundo parcial levemente atenuado, o terceiro, quarto e quinto parciais atenuando-se gradativamente.

Finalmente, foram gravadas quatro amostras com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá. Com esta posição, obteve-se o primeiro parcial em 430 Hz. O fluxo no qual se obteve resposta sonora adequada do instrumento foi 10l/min.

A primeira dessas amostras foi gravada fazendo-se uma varredura do tudo do modelo de trato vocal. Assim, o imã foi, mais uma vez, movimentado entre $(1,0 \pm 0,5)$ cm e $(15,0 \pm 0,5)$ cm a partir da porção mais próxima ao bocal da flauta. O resultado obtido é apontado pela FIG. 21.

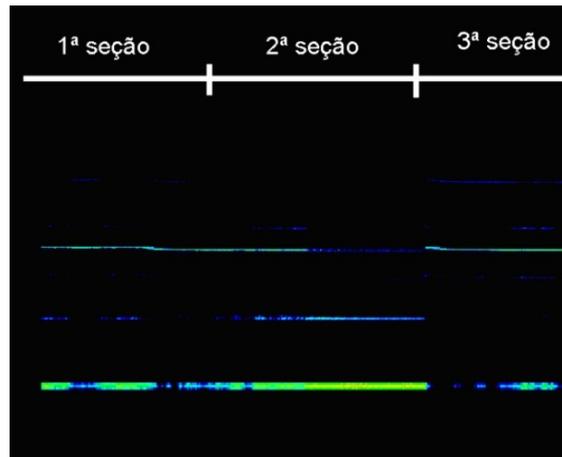


FIG. 21 – varredura completa do tubo do trato vocal com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá

Nota-se aqui um grande número de alterações ocorridas durante a varredura completa do tubo, podendo se, ainda, distinguir três grandes seções.

A primeira seção exibe o primeiro parcial (430 Hz), embora com intensidade flutuante; o segundo parcial (860 Hz); o segundo harmônico (1290 Hz), que aparece apenas em alguns pontos; o quarto parcial (1720 Hz), nitidamente, oscilando em frequência algumas vezes; o quinto parcial (2150 Hz), pontualmente, assim como o oitavo parcial (3440 Hz).

A segunda seção expõe o primeiro parcial (430 Hz) mais definido e acentuado, o segundo parcial (860 Hz) também mais acentuado e o quarto parcial (1720 Hz) algo atenuado.

A terceira seção tem o primeiro parcial (430 Hz) bastante atenuado. O segundo parcial (860 Hz) desaparece completamente. São exibidos ainda o terceiro parcial (1290 Hz), o quarto parcial (1720 Hz), o quinto parcial (2150 Hz) e o oitavo parcial (3440 Hz), este bastante ressaltado.

Um ponto em cada uma dessas seções foi gravado separadamente, ainda com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá.

O primeiro ponto foi estabelecido em $(1,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. O resultado obtido é apontado na FIG. 22.

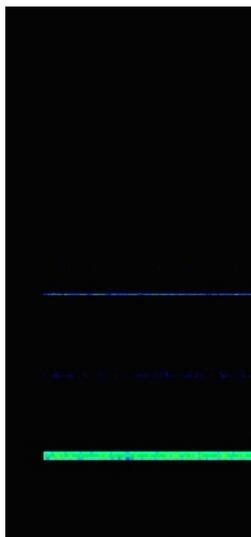


FIG. 22 – ponto dentro da primeira seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá

Notamos que há semelhança com a primeira seção da varredura: o primeiro parcial (430 Hz) aparece nítido; o segundo parcial (860 Hz), bastante atenuado; o quarto parcial (1720 Hz) aparece nitidamente e o quinto parcial (2150 Hz), muito atenuado.

O segundo ponto foi estabelecido em $(6,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. A FIG. 23 indica os resultados obtidos.

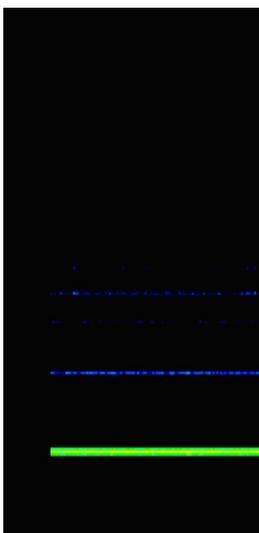


FIG. 23 – ponto dentro da segunda seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá

Os resultados condizem com o apresentado na segunda seção da varredura: o primeiro parcial (430 Hz) mais definido e acentuado, o segundo

(860 Hz) e o quarto (1720 Hz) parciais um pouco acentuados e o terceiro (1290 Hz) e quinto (2150 Hz) parciais atenuados. A afinação sofre uma ligeira queda.

O terceiro ponto foi estabelecido em $(12,0 \pm 0,5)$ cm a partir do início da porção do modelo de trato vocal mais próxima ao bocal. A FIG. 24 indica os resultados obtidos.

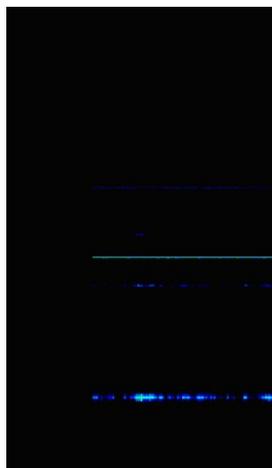


FIG. 24 – ponto dentro da terceira seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá

Novamente, fica evidenciada a semelhança com os resultados obtidos na varredura do tubo do modelo de trato vocal: primeiro parcial (430 Hz) bastante atenuado e o desaparecimento completo do segundo parcial (860 Hz). São exibidos ainda o terceiro parcial (1290 Hz), o quarto parcial (1720 Hz), o quinto parcial (2150 Hz) e o oitavo parcial (3440 Hz), como indicado na FIG. 25.

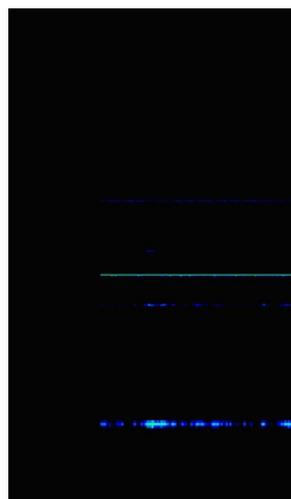


FIG. 25 - espectro sonoro do ponto dentro da terceira seção com as chaves da flauta posicionadas para a emissão da nota Lá

4.4 Análise dos resultados

Uma análise geral dos resultados do experimento denota que as alterações ocorridas a partir da mudança de posição do elemento constritor no modelo de trato vocal foram muito vastas, e que há elementos para se afirmar que existe influência da posição do trato vocal na qualidade sonora da flauta.

Essa influência pode ser percebida tanto auditivamente como através de mudanças na configuração espectral do som. Houve alterações sensíveis na fundamental e nos harmônicos correspondentes, de acordo com a posição do elemento constritor no tubo do modelo de trato vocal nas três situações pesquisadas.

Notamos que, na prática, a interferência do trato vocal na qualidade sonora de um flautista é menor que a demonstrada no experimento. Isto ocorre devido ao grande número de variáveis a que o flautista submete sua execução, como por exemplo, a posição dos lábios e mandíbula, e variações de pressão e fluxo. A função do modelo, isolando variáveis, é justamente ressaltar as alterações decorrentes da posição do trato vocal.

Observa-se que existe forte semelhança entre as três situações em que as amostras foram gravadas. Percebe-se que em todas as situações existem três seções distintas, como apontado nas FIG. 13, 20 e 27. Tal fato poderia nos remeter ainda a classificação geral das vogais em três grupos, como apontado na FIG. 3.

A primeira seção de cada uma das situações representa o elemento constritor anteriorizado, ou seja, próximo à região dos lábios, o que poderia nos remeter às vogais [i] e [ε], de acordo com o que foi demonstrado na FIG. 3.

A segunda seção, por sua vez, representa o elemento constritor em posição média, o que poderia nos remeter à vogal [a], também de acordo com a FIG. 3. A terceira seção representa o elemento constritor em posição posteriorizada, ou seja, afastado dos lábios, o que, ainda de acordo com a FIG. 3, poderia nos remeter às vogais [u] e [ɔ].

Não foi possível estabelecer uma relação segura entre os resultados apresentados em cada gráfico gerado pelo experimento. Por exemplo, os pontos gravados na primeira seção das posições de chaves da flauta para as notas Si e Lá, são muito semelhantes entre si, como demonstrado pelas FIG. 21 e 28.

Contudo, não apresentam semelhança marcante com o ponto gravado na primeira seção com o bocal livre, conforme apontado na FIG. 14. Isto pode ser atribuído a não correção do ângulo da embocadura para diferentes frequências, fator largamente empregado pelos flautistas.

Observamos que, nas três situações em que as amostras foram gravadas, ou seja, bocal livre, chaves posicionadas para a nota Si e para a nota Lá, a segunda seção, que representa uma posição média do elemento constritor, apresentou uma leve queda na afinação, sem que fossem alterados ângulo, posição de lábios, mandíbula ou fluxo de ar.

Embora seja possível perceber outras semelhanças e diferenças entre as amostras apresentadas, não foi este o objetivo final do presente trabalho, que se focou apenas na verificação da existência ou não da influência do trato vocal na qualidade sonora da flauta. A mensuração dessa influência será, quiçá, elemento de trabalhos futuros.

Apenas como análise geral, pode-se dizer que, na maior parte das amostras, verifica-se que a posição que melhor favoreceu a qualidade da fundamental foi a equivalente a vogal [a], ou seja, posição média. Tal constatação pode favorecer a didática da flauta, especialmente para iniciantes, que não têm domínio sobre a técnica de realizar alterações no trato vocal. O uso da posição equivalente a vogal [a] poderá ajudar o iniciante a alcançar com maior facilidade uma boa resposta sonora do instrumento.

5. Conclusão

Em conclusão ao presente trabalho, é possível formular algumas afirmações, a fim de sintetizar os principais aspectos debatidos:

- I. O trato vocal modifica a configuração espectral do som produzido pelas pregas vocais, acrescentando regiões de ressonância, os formantes, ao sinal inicial e fazendo com que a onda sonora irradiada pelos lábios seja bem mais complexa que aquela produzida nas pregas vocais. Estes formantes, em especial os dois primeiros, são responsáveis pela caracterização das vogais, sendo que sua posição pode variar, dentro de certos limites, sem comprometer a inteligibilidade da vogal emitida.
- II. A bibliografia sobre o tema é extremamente restrita, tanto nacional quanto internacionalmente, o que acentuou a dificuldade na elaboração

deste trabalho. Além disso, a pouca bibliografia existente não é suficiente para se estabelecer uma relação entre a posição do trato vocal e a qualidade sonora da flauta. Mather (1998) aborda o assunto apenas com especulações sem comprometimento científico; Macmahon [s.d.] faz considerações sobre a importância da fonética na produção do som na flauta com enfoque somente na velocidade e ângulo, evitando tratar da pertinência ou não da influência do trato vocal sobre a qualidade sonora da flauta; Laurin (1998) realiza testes de medição de transferência acústica para provar que o tamanho e a forma do trato vocal influenciariam o som da flauta doce, porém limita as conclusões decorrentes de seus resultados.

- III. A experiência preliminar realizada com garrafas plásticas demonstrou que seria possível e viável simular um trato vocal artificial que, modificado, poderia gerar alterações na qualidade sonora da flauta, com a conseqüente eliminação das demais variáveis, tais como alterações no ângulo do jato de ar, no fluxo de ar e na posição da mandíbula.
- IV. O experimento final foi elaborado com um modelo de embocadura em fibra de vidro acoplado a um trato vocal artificial feito em PVC, o qual simula a constrição do trato vocal através de um anel metálico colocado em seu interior e movimentado por um ímã na parte externa do tubo. O modelo de trato vocal está ligado a um sistema de ar comprimido ligado a um fluxômetro para manter o fluxo de ar constante.
- V. Os resultados do experimento final foram gravados em três situações distintas: a primeira, utilizando apenas o bocal da flauta, a segunda, utilizando toda a flauta, com as chaves posicionadas para a emissão da nota Si 4 , e a terceira, também utilizando toda a flauta, com as chaves posicionadas para a emissão da nota Lá 4.
- VI. Em cada uma das situações nas quais foram gerados os resultados do experimento final, foram gravadas quatro amostras: a primeira, uma varredura completa do tubo do modelo de trato vocal; a segunda, um ponto demonstrando a constrição posteriorizada do modelo de trato vocal; a terceira, um ponto demonstrando a constrição média; e a quarta, demonstrando a constrição anteriorizada do modelo. Ao todo,

foram gravadas doze amostras diferentes dos resultados obtidos no experimento final.

- VII. A análise dos resultados do experimento final apontou que há elementos para se afirmar que existe influência da posição do trato vocal na qualidade sonora da flauta em razão das grandes diferenças verificadas entre as amostras, embora não se possa, ainda, mensurar essa influência.
- VIII. O trabalho realizado abre um leque de possibilidades a serem exploradas. Dentre elas, a diferença de atuação do trato vocal na qualidade sonora da flauta e na caracterização da fala. Nesta, o trato vocal atua posteriormente à produção sonora, enquanto naquela, sua atuação é anterior. Ocorre que, na caracterização da fala, a produção do som acontece nas pregas vocais e este, então, é modificado pelo trato vocal. Na qualidade sonora da flauta, o trato vocal atua anteriormente à produção do som, que acontece no contato do jato de ar com a borda da embocadura.
- IX. Outra possibilidade a ser estudada é a turbulência do fluxo que atinge a flauta. A posição do trato vocal poderia, por exemplo, influenciar a quantidade de turbulência, acentuando-a ou atenuando-a, através do aumento ou da redução de espaço na cavidade oral.
- X. Por fim, a mensuração da influência do trato vocal na qualidade sonora da flauta é tema de grande interesse para estudos posteriores, partindo-se do pressuposto que tal influência existe, de acordo com o que foi demonstrado neste trabalho.

Referências bibliográficas

- BEHLAU, M. Voz: o livro do especialista. Vol. 1. Rio de Janeiro: Revinter, 2001.
- COLTMAN, J. W. Resonance and Sounding Frequencies of the Flute. *Journal Acoustic Soc. American* 40, 1966, p. 99 – 107.
- GARCIA, Maurício Freire. Gravando a flauta: aspectos técnicos e musicais. *PerMusí – revista de performance musical*. Belo Horizonte, vol 1, 2000. p. 40 – 51.
- KENT, Ray D; READ, Charles. *The Acoustic Analysis of Speech*. 2ª ed. Madison: Singular, 2001. p. 13 – 40.
- LAURIN, Dan. *The relation between the vocal tract and recorder sound quality*. Disponível em: <http://www.danlaurin.com/>. Acesso em: 21 nov. 2004.

- MACMAHON, Mike. *Throat resonance, vowel sounds*. Disponível em: <http://www.larrykrants.com/Mike.htm>. Acesso em: 20 nov. 2004.
- MATHER, Roger. Your Throat, Sinus and Mouth Resonances: Friends or Foes? In: *The Flutist's Handbook: A Pedagogy Anthology*. Santa Clarita: National Flute Association, 1998. p. 75 – 79.
- PINHO, Sílvia M. Rebelo. *Fundamentos em Fonoaudiologia: tratando os distúrbios da voz*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
- QUANTZ, Johann Joachim. *On Playing the Flute: the Classic of Baroque Music Instruction*. Tradução de Edward R. Reilly. 2ª ed. Boston: Northeastern University Press, 2001. p. 49 – 59. Título original: Versuch einer Anweisung, die Flöte traversière zu spielen, 1752.
- SUNDBERG, Johan. Perception of Singing. In: *Musical Acoustics*, 1979. p. 1 – 17.
- VIEIRA, Maurílio Nunes. *Automated Measures of Dysfonias and the Phonatory Effects of Asymmetries in the Posterior Larynx*. PhD Thesis. University of Edinburgh, Edinburgh, 1997.
- VIEIRA, Maurílio Nunes. Uma introdução à acústica da voz cantada. In: *I Seminário Música, Ciência e Tecnologia: Acústica Musical*. São Paulo, 2004.

Currículo da Autora

Fabiana Moura Coelho, flautista, Mestre em Música – Performance pela Universidade Federal de Minas Gerais, sob orientação do Prof. Dr. Maurício Freire Garcia. Bacharel em Música – Instrumento pela Universidade Estadual de Campinas, na classe do Prof. Sávio Araújo. Desde 2002 desenvolve intensa pesquisa na área de música e tecnologia, com especial ênfase nos estudos relativos à sonoridade da flauta, já tendo publicado diversos trabalhos.