

## FATORES PRIMÁRIOS DA QUALIDADE TONAL DOS INSTRUMENTOS DE SOPRO

Ricardo Goldemberg

### INTRODUÇÃO

Na análise acústica dos instrumentos musicais, o conceito de timbre ou qualidade tonal é um assunto de grande relevância. Existe um claro interesse em se determinar objetivamente a forma pela qual os elementos de um sistema musical interagem e produzem os sons que costumamos ouvir. Trata-se de um assunto particularmente relevante pois, em virtude do forte tradicionalismo existente entre musicistas, é comum a caracterização dos instrumentos musicais baseados em conceitos duvidosos ou até mesmo pautados em forte emocionalismo.

No caso específico dos instrumentos de sopro, uma avaliação da qualidade tonal é possível a partir da análise objetiva de alguns elementos particulares. Com isso, é possível se suprir a comunidade de músicos e acadêmicos em geral com dados mais precisos e que, eventualmente, permitem uma discussão mais elaborada dos elementos de interesse.

Nesse trabalho, após uma breve explanação a respeito dos princípios que regem o funcionamento desses instrumentos, procurar-se-á discutir e delimitar alguns dos fatores primordiais da respectiva emissão sonora como a natureza da fonte de vibração, a forma do tubo e a posição e tamanho dos orifícios.

### Como funcionam os instrumentos de sopro

Os instrumentos de sopro produzem som através do efeito de ressonância criado em uma cavidade parcialmente encoberta, geralmente em forma de tubo.

Em colunas de ar, um distúrbio de natureza impulsiva ou pulso em uma das extremidades produz um aumento de pressão localizado que tende imediatamente a se propagar como onda em direção à extremidade oposta do tubo. Ao atingir o ponto em que o tubo se encontra com a atmosfera circundante ocorre uma forte descontinuidade de impedância e, assim como ocorre com uma corda, o pulso é parcialmente refletido. Da mesma maneira, a onda refletida percorre o caminho de volta até se encontrar novamente no início do tubo onde sofre nova reflexão e o processo todo se reinicia. O sistema continua a funcionar desta maneira até que toda a energia original tenha se dissipado.

Esta dissipação de energia ocorre rapidamente em função do atrito e viscosidade da onda com as paredes do tubo, mas, sobretudo, devido ao fato de que parte desta energia é radiada para o meio ambiente nas extremidade(s) aberta(s) vindo a constituir



a parte audível do processo. Entretanto, no caso dos instrumentos musicais de sopro, existe um mecanismo de retro-alimentação que repõe a energia perdida a cada ciclo, proporcionando a existência de um distúrbio contínuo. A interferência das ondas sonoras com as suas respectivas reflexões resulta em um fenômeno de ressonância caracterizado pela existência de ondas estacionárias cuja frequência está intimamente relacionada tanto ao comprimento do tubo quanto ao tempo que a onda demora para percorrê-lo.

Cabe ressaltar que os mecanismos de retro-alimentação dos instrumentos de sopro possuem o atributo de serem dominados, ao menos parcialmente, pela coluna do ar em vibração. “A frequência natural do tubo é predominante e induz a palheta ou lábio a se acomodar às necessidades do sistema. É por essa razão que um determinado dedilhado em um instrumento como a clarineta produz uma nota específica. Neste caso, a configuração de orifícios fechados e abertos possui uma frequência natural de ressonância que corresponde à nota emitida e é sustentada por uma palheta que, com a ajuda do instrumentista habilidoso, pulsa na mesma frequência de vibração que o tubo sonoro” (Goldemberg, 2002, p.13).

## **Natureza da fonte de vibração**

A fonte de vibração é possivelmente o fator mais evidente na constituição do som e timbre produzidos por um instrumento de sopro. Em um primeiro plano, sua função é acrescentar à amplitude de pressão a mesma quantidade de atrito e radiação a cada ciclo de oscilação. Os lábios do musicista, ou o conjunto boquilha/palheta, servem como uma válvula que bombeia o ar sob pressão no momento exato e restaura o movimento oscilatório a sua amplitude original.

O aparato de oscilação contribui para o resultado sonoro a medida que ele próprio mesmos apresenta suas frequências de ressonância naturais. Desta forma, o resultado final advindo da interação entre a fonte de oscilação e o tubo sonoro será uma espécie de produto entre as respectivas curvas espectrais.

Como exemplo, Berg & Stork (1995, p.114-115) apresentam o caso de um instrumento hipotético excitado por intermédio de uma fonte sonora caracterizada por um espectro de ruído pouco definido (“colored noise”).

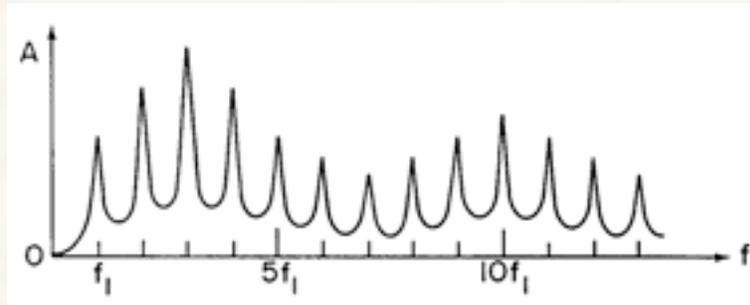


FIGURA 1 - Curva de ressonância de um instrumento musical hipotético  
FONTE - Berg & Stork, 1995, p. 114

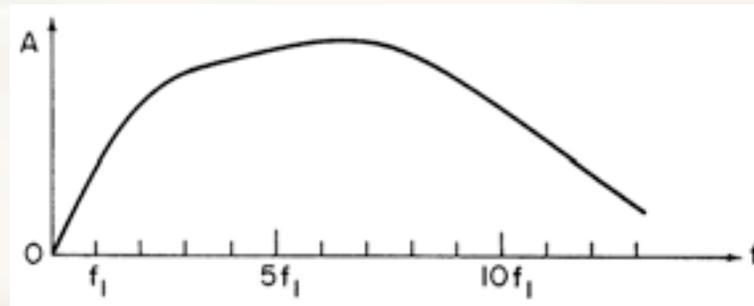


FIGURA 2 - Espectro sonoro produzido pelo aparato de oscilação  
FONTE - Berg & Stork, 1995, p. 114

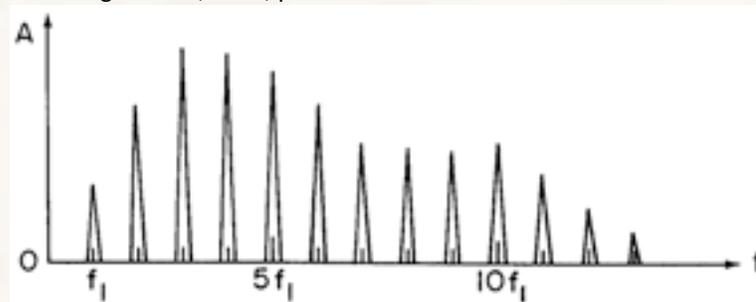


FIGURA 3 - Espectro de Fourier resultante da interação entre o instrumento hipotético e o respectivo aparato de oscilação  
FONTE - Berg & Stork, 1995, p. 114

Apesar do procedimento apresentado ser bastante simplificado, ele indica de maneira qualitativa as relações de dependência do som produzido para com o tubo e a



respectiva fonte sonora. Na realidade, a produção sonora em sopros é mais complexa do que o exposto, em virtude da existência de um mecanismo de “feedback” do tubo com relação ao aparato de oscilação. Entretanto, é evidente que o som produzido por um instrumento de sopro possui uma qualidade tonal fortemente influenciada pela natureza da fonte de vibração.

Afora o exposto, o aparato de oscilação sofre influências relativas a brandura e maleabilidade dos lábios e palhetas. De um modo geral, “musicistas controlam a afinação dos seus instrumentos através do enrijecimento dos lábios, da pressão dos maxilares e de variações no formato da cavidade bucal. Estas técnicas são comumente trazidas à performance, quase sempre de maneira inconsciente, possibilitando ajustes finos e melhor controle dos registros agudos” (Goldemberg, 2002, p.16).

### **Forma do tubo sonoro**

O conceito de harmonicidade é o fator básico que permite justificar a preferência dada pelos construtores às formas cilíndricas e cônicas, predominantes nos instrumentos de sopro. Tais instrumentos são tubos multirressonadores e, frente aos requisitos musicais aos quais são submetidos, procura-se obter frequências de ressonância que se aproximam ao máximo da série harmônica. Tal condição permite que se produza uma sonoridade rica e estável, ao contrário do som fraco e recalcitrante produzido em um tubo cujas frequências de ressonância não se encontram relacionadas da maneira apropriada.

Quando múltiplas ressonâncias coexistem na mesma câmara de ar, as relações de frequência influenciam a sua interação e sonoridade resultante de diversas maneiras. Se, por exemplo, uma frequência de ressonância no tubo é exatamente o dobro de outra (fazendo-as distantes em uma oitava), as duas podem trabalhar juntas como numa equipe. Elas tendem a cair em um regime fechado de suporte mutuo caracterizado por um padrão próprio de reforço. Se a coluna de ar é induzida a vibrar na frequência mais baixa, haverá uma tendência da mais alta vibrar também, criando uma forte ressonância e uma sonoridade mais rica. Nenhum padrão de reforço desta natureza surge entre frequências de ressonância que não compartilham o mesmo tipo de relação aritmética simples. (Hopkin, 1992-93, p.4)

Além disso, deve-se considerar que os instrumentos de sopro clássicos são projetados para tocar em ampla tessitura, utilizando regularmente dois ou três registros diferentes. No registro mais baixo é utilizada uma combinação particular de orifícios abertos e fechados para que se obtenha a nota desejada. Nos registros superiores procura-se inibir a emissão das frequências de ressonância mais baixas e, com a mesma combinação de orifícios abertos e fechados, obter a emissão de notas mais agudas, geralmente localizadas uma quinta, oitava ou décima-segunda acima. Se porventura as

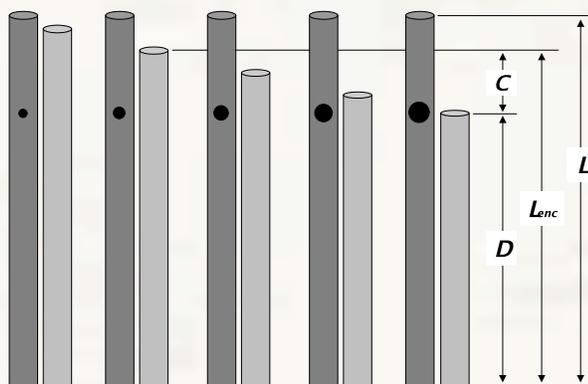
freqüências de ressonância se encontrarem fora daquelas previstas pela série harmônica, o resultado será um instrumento desafinado nos registros superiores.

Por fim, instrumentos de sopro são projetados a fim de produzir escalas e notas distintas através do encurtamento ou alongamento do tubo. Tal procedimento é obtido mediante a manipulação de orifícios nos instrumentos de madeira e pistos ou varas nos instrumentos de metal. Ocorre que tubos cilíndricos e cônicos não só apresentam freqüências de ressonância compatíveis com a série harmônica, mas, sobretudo, mantêm esta característica mesmo quando o seu comprimento é modificado.

### Posição e tamanho dos orifícios

Como afirmado, a função primária dos orifícios nos instrumentos de madeira é possibilitar a execução de notas distintas através do encurtamento do comprimento efetivo do tubo. Este efeito é facilmente visualizado ao imaginar-se um orifício relativamente grande que pode funcionar como um final prematuro do tubo. A onda de pressão que, em princípio, iria parcialmente refletir na extremidade aberta do tubo, passará a fazê-lo ao encontrar o orifício aberto. Neste caso, o comprimento de onda será menor e, por consequência, a nota emitida terá uma freqüência mais alta.

Entretanto, o efeito produzido é claramente dependente do tamanho do orifício aberto. Um orifício pequeno em relação ao diâmetro do tubo sonoro tem um efeito pouco expressivo na freqüência emitida por este tubo, ao passo que um orifício grande resulta em mudanças muito maiores. A extensão dessas mudanças é explicitada na figura a seguir:



$L$  é o comprimento do tubo com orifício

$L_{enc}$  é o comprimento encurtado, equivalente ao tubo com

orifício



$D$  é o comprimento da extremidade fechada até o orifício  
 $C$  é o fator de correção do orifício

FIGURA 4 - Tamanho dos orifícios e comprimento equivalente do tubo.  
FONTE (Parcial) - BENADE, 1992, p.205.

De acordo com esta ilustração, percebe-se que o comprimento  $L_{enc}$  do tubo simples encurtado situa-se entre o comprimento  $L$  do tubo com orifício e o comprimento  $D$  da extremidade fechada até o orifício. Um orifício pequeno deixa  $L$  e  $L_{enc}$  bastante próximos, apresentando um fator  $C$  de correção de orifício, mensurado pela diferença entre  $L_{enc}$  e  $D$ , relativamente grande. Por outro lado, orifícios maiores tendem a aproximar as medidas  $D$  e  $L_{enc}$  até o ponto em que, ao atingir as dimensões do diâmetro interno do tubo, as medidas tornam-se praticamente iguais.

Além do exposto acima, o tamanho e a profundidade dos orifícios tem um efeito considerável na qualidade tonal de um instrumento de sopro. Primeiramente deve-se notar que o tamanho de um orifício afeta de maneira relevante o volume produzido, visto que orifícios pequenos apresentam uma perda relativamente grande de energia devido aos efeitos maiores da viscosidade e turbulência.

Entretanto, o efeito mais significativo do tamanho dos orifícios na qualidade tonal está relacionado com o conceito denominado “cut-off frequency” (frequência de corte). Arthur Benade (1925-1987), um dos decanos da acústica musical, mostrou que um conjunto de orifícios reflete bem as frequências mais baixas, mas que acima de uma determinada “frequência de corte” a maior parte da energia é conduzida para o ar. A primeira impressão é que a contribuição destas ondas curtas seria bastante significativa para o som emitido. Entretanto, devido ao fato de não haver praticamente nenhuma reflexão para o interior do tubo, não é possível que se estabeleça um efeito de ressonância significativo. Dessa forma, a partir de determinada frequência, dependente da geometria e espaçamento dos orifícios, o instrumento deixa de funcionar como um ressoador eficiente.

O impacto da frequência de corte na constituição do timbre instrumental é grande, pois determina a quantidade de harmônicos superiores, presentes no som produzido. Em função deste fenômeno, é compreensível que se procure uma homogeneização timbrística através do controle do tamanho e espaçamento dos orifícios. De um modo geral, orifícios grandes e espaçamento pequeno elevam a frequência de corte e seu respectivo conteúdo harmônico. Se porventura o tamanho dos orifícios variar de acordo com critérios mal definidos, é bastante provável a ocorrência de inconsistências em volume e timbre de uma nota para outra.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores de influência primários discutidos acima têm uma imensa importância na caracterização da qualidade tonal de um instrumento de sopro. Entretanto, existe uma série de fatores secundários cuja influência, ainda que menos determinante, não deve ser deixada de lado em uma discussão mais abrangente. Como exemplos podem ser citadas as seguintes variáveis: material utilizado na construção, espessura do tubo, presença de alargamentos e estreitamentos, presença de curvas e formato do corte transversal.

Por fim, é necessário lembrar que, embora uma discussão objetiva e de caráter científico-musical como a proposta seja relevante para a compreensão da estrutura e funcionamento dos instrumentos musicais de sopro, uma valorização excessiva da qualidade timbrística e tonal baseada exclusivamente nos critérios apresentados é inadequada. Em último plano, os critérios de qualidade aplicados a um instrumentos musical são fortemente culturais e resultado da interação entre compositores, intérpretes e construtores em um processo que se manifesta ao longo de muitos anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENADE, Arthur H., *Horns, Strings and Harmony*. Mineola, N.Y.: Dover Publications, 1992 (originalmente publicado pela Anchor Books, 1960).

BERG, R.E & STORK, D.G., *The Physics of Sound*. Englewood Cliffs: N.J.: Prentice-Hall, 1995.

GOLDEMBERG, Ricardo, "Princípios de Acústica Musical aplicados à Clarinetas e Instrumentos de Sopro", *Revista Acústica & Vibrações da SOBRAC*, 30, pp. 8-24, dezembro 2002.

HOPKIN, Bart, *Air Columns and Toneholes*. Nicasio, CA: Experimental Musical Instruments, 1992-93.