

## 11- INSTRUMENTOS MUSICAIS

A base para o entendimento dos sons produzidos pelos instrumentos musicais é a geração de ondas estacionárias. Considere o caso de um tubo de um instrumento como a flauta.

Se um tubo fechado que acomoda uma ou mais ondas estacionárias tiver uma pequena abertura, o som escapará para o ambiente e poderá ser escutado. O ouvido humano é sensível a frequências que vão desde cerca de 20Hz até um limite superior que decai com a idade e fica tipicamente em torno de 20 000 Hz.

Os instrumentos musicais produzem sons nessa faixa de frequências.

No entanto, o fenômeno da ressonância desempenha um papel importante no sentido de amplificar a intensidade dos sons produzidos, por exemplo, pelas cordas de um violão. Assim, um violão é constituído por um conjunto de seis cordas submetidas a diferentes tensões e uma caixa de ressonância, cuja função é amplificar o som.

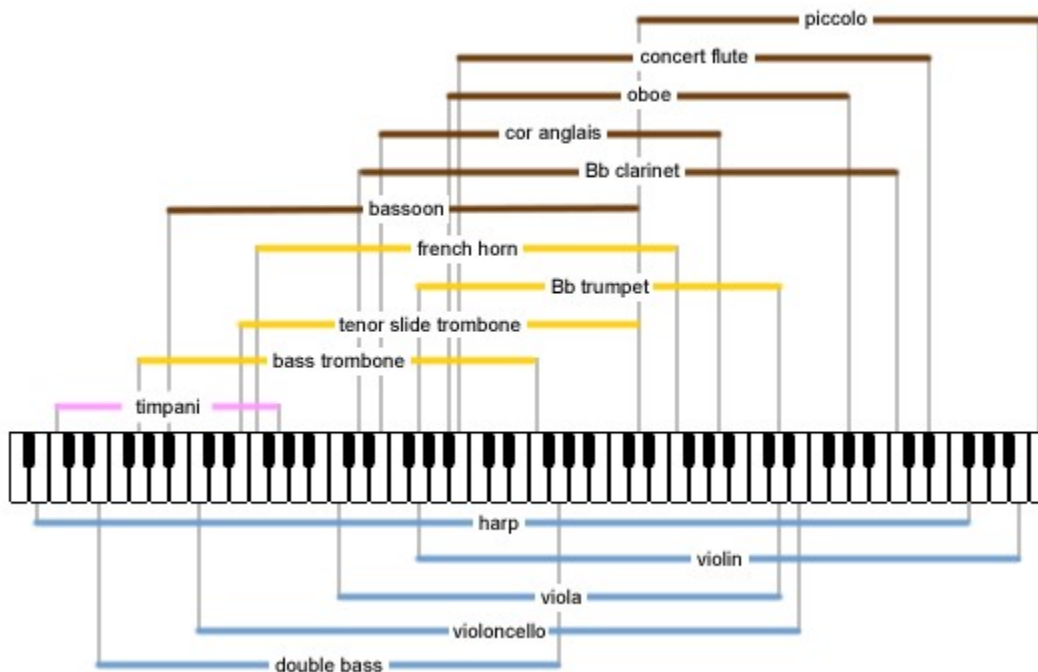


Fig.1- Teclado de um piano.

### 11.1- Instrumentos de Sopro

Os instrumentos de sopro (flauta ou tuba, por exemplo) são tubos um pouco diferentes dos que discutimos porque uma das extremidades é aberta. Qualitativamente, no entanto, a física é a mesma que discutimos.

Em particular, quanto maior for o tubo, mais grave será o som emitido, porque o comprimento de onda do modo fundamental cresce em proporção ao tamanho do tubo (num tubo fechado, como vimos,  $\lambda_1 = 2L$ ; num tubo aberto, a igualdade equivalente é  $\lambda_1 = 4L$ . De qualquer forma,  $\lambda_1$  é proporcional a L). Quanto maior o comprimento de onda, menor será a frequência.

Por isso, a tuba que emite sons muito graves, deve ter um grande comprimento. Para isso, ela precisa ser enrolada sobre si mesma

para ser grande e ainda assim, portátil. Ou seja, para poder ser transportada sem grandes transtornos. A flauta produz sons mais agudos. Os apitos, que são muito menores, produzem sons estridentes porque tipicamente conseguimos ouvir apenas o primeiro harmônico: os demais ficam acima do limite de audição.

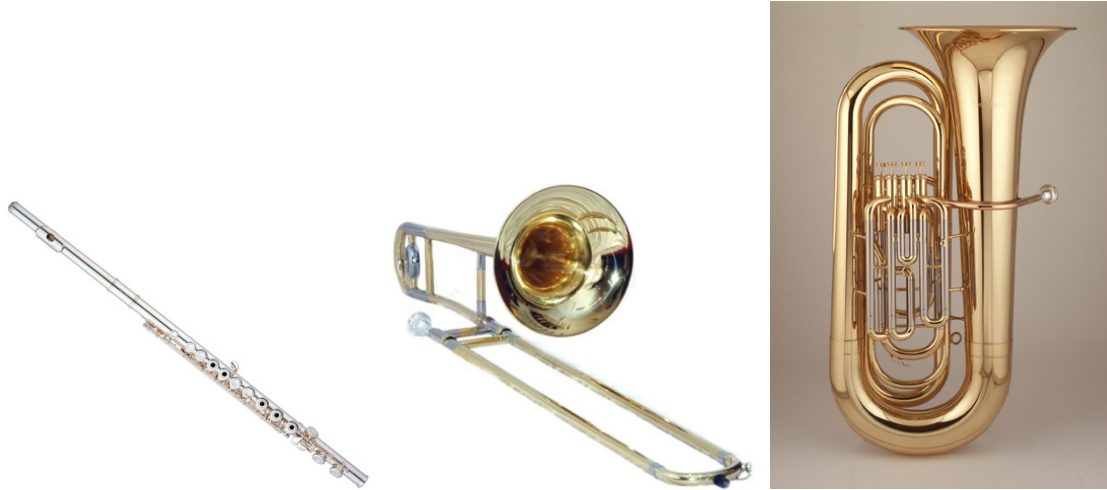


Fig. 2- Instrumentos de sopro.

### 11.2- Instrumentos de Cordas

Nos instrumentos de corda (violão ou violino, por exemplo), a frequência é determinada pela vibração das cordas, que como já vimos depende da tensão e da densidade do material. Como a área de uma corda é muito pequena, ela quase não agita o ar a sua volta. Resulta que uma corda isolada produz um som praticamente inaudível. Por isso, todo instrumento de corda possui uma caixa de ressonância, que aproveita a pequena vibração do ar produzida pelas cordas para criar uma onda estacionária em seu bojo. O que ouvimos quando um violonista toca é o vazamento dessa onda estacionária.

A seguir consideraremos os possíveis sons produzidos por uma corda de um violão ou de qualquer outro instrumento de corda.

### 11.3- Instrumentos de Corda: Frequências Possíveis

Primeiramente lembramos que existem três parâmetros relevantes no entendimento dos sons produzidos ao estimularmos uma corda: O comprimento da mesma ( $L$ ), sua densidade linear ( $\mu$ ) e a tensão ( $T$ ) à qual a corda está sujeita. Assim, a velocidade com que uma onda se propaga numa corda depende da tensão aplicada a ela (a qual provoca uma ligeira alongação da mesma) e da densidade linear. Escrevemos a velocidade em termos desses parâmetros como:

$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Assim, as possíveis frequências dos sons emitidos por uma corda são dadas por:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

O modo correspondente à menor frequência, dita fundamental, é aquele para o qual os nós estão separados por uma distância igual ao do comprimento da corda,  $L$ . Nesse caso, o comprimento de onda é o máximo possível. A frequência fundamental:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \Rightarrow \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

Outra coisa interessante em relação às ondas estacionárias numa corda é que só ondas com alguns comprimentos de ondas podem nela se estabelecer. Essas frequências são dadas pelos seguintes valores

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Vejamos agora a restrição em termos da frequência. Para tal lembramos que numa onda harmônica, temos:

$$\lambda f = v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Portanto as frequências possíveis são dadas por:

$$f_n = \frac{1}{\lambda_n} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Considerando-se os valores dos comprimentos de onda dados anteriormente, obtemos para as frequências a expressão:

$$f_n = n \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

O modo correspondente à menor frequência, dita fundamental, é aquele em que os nós estão separados pelo comprimento da corda. Nesse caso, o comprimento de onda é o máximo possível. A frequência fundamental é dada por:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Além disso, as demais frequências são múltiplos inteiros da frequência fundamental:

$$f_m = m f_1$$

Temos assim vários modos de oscilação, diferindo entre si pela frequência.

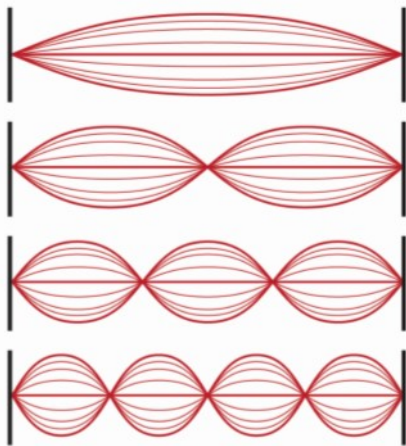


Fig. 3- Modos de oscilação associados a diferentes frequências.

Ou seja, frequências tais que elas sejam um número múltiplo da frequência do primeiro harmônico ou som fundamental.

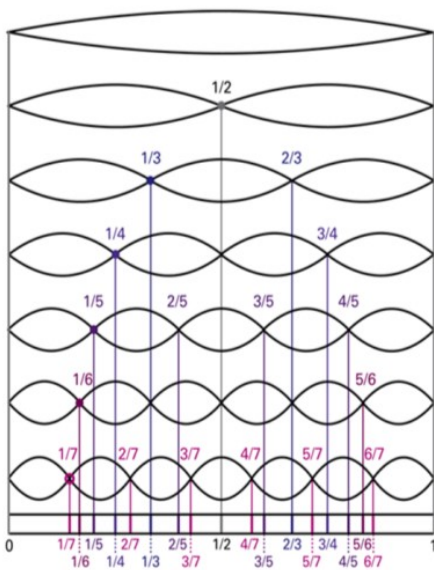


Fig. 4- Alguns modos de vibração de uma corda.

Assim, o fato de existirem ondas harmônicas numa corda acarreta duas consequências. A primeira delas é a existência de nós e anti nós. A segunda é que só algumas frequências são possíveis. Ou seja, nos instrumentos de corda só algumas frequências serão geradas por eles. Frequências que são um múltiplo inteiro da frequência do primeiro harmônico, ou fundamental.