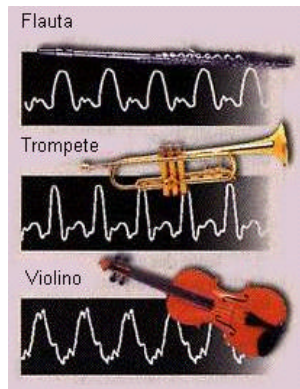


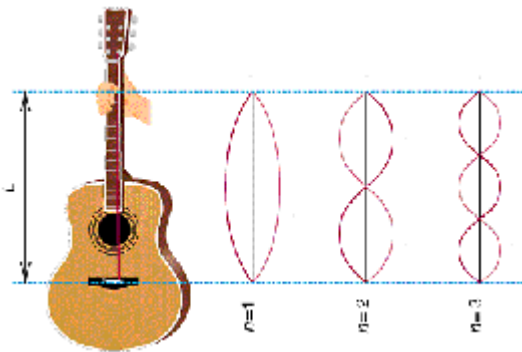
A Física da Música

Características sonoras

A ciência pode hoje apontar certas características físicas de um som musical que o distingue de sons que são apenas ruídos. Utilizando instrumentos que transcrevem as ondas sonoras em imagens visuais (tais como o "osciloscópio"), os cientistas aprenderam que a maioria dos sons musicais formam estruturas definidas por ondas e descritas por funções matemáticas (chamadas de "função seno" ou "senóide"), e que cada instrumento produz uma modalidade matemática diferente. O som é medido fisicamente por três grandezas: a intensidade, a frequência e o timbre. Intensidade refere-se à amplitude das oscilações da pressão do ar. Frequência é o número de vezes que a oscilação ocorre por unidade de tempo. E timbre é relativo à presença de harmônicos no som.



Através de um osciloscópio, podemos "ler" a matemática que há por trás da música. Cada tipo de instrumento musical tem uma espécie de "assinatura": um conjunto de características sonoras associadas que têm uma descrição matemática extremamente precisa, embora possam parecer subjetivas. O som pode ser representado pela soma de diversas ondas individuais, o que chamamos de "componentes de Fourier". O que diferencia um instrumento de outro são as amplitudes e a duração de cada um dos harmônicos presentes no som resultante. A esse conjunto de características chamamos de timbre. A mesma nota emitida por uma trompa soa diferente quando produzida por um violino. Isto acontece porque, embora a frequência fundamental dos sons seja a mesma em ambos os instrumentos, a excitação das frequências harmônicas é diferente. No violino, uma extensa gama de harmônicos comparece junto à fundamental, e do conjunto desses sons resulta o timbre do instrumento.



Mesmo uma única corda pode vibrar em vários harmônicos simultaneamente. O timbre do instrumento é a soma destes harmônicos em conjunto com as características da caixa acústica do violão.

Outras caracterizações da música envolvem harmonia e ritmo. A harmonia é a relação que se estabelece entre notas musicais, de maneira a criar uma sensação agradável. Pode ser dada por regras matemáticas de proporção, mas como podemos ter uma infinidade de regras, a harmonia torna-se subjetiva, variando de acordo com o estilo almejado. Os modelos clássicos buscavam partido do pensamento pitagórico-platônico, buscando na música a proporção áurea. Por outro lado, o *rock*, como proposta moderna de música, subverteu as regras e fez

música com acordes que, de acordo com os clássicos, seriam desagradáveis à audição humana.

Ritmo relaciona sucessões de tempos musicais tônicos e átonos, isto é, "fortes" e "fracos". Pode se definir o ritmo como algo que se aproxima das batidas cardíacas, ou seja, varia de acordo com a emoção que se deseja expor: mais acelerado e frenético ou calmo e suave. Se para a harmonia, mesmo com regras matemáticas, temos uma subjetividade muito forte e presente, com relação ao ritmo tudo se torna subjetivo, isto é, a única maneira de se avaliar um ritmo é baseado em sentimentos e emoções.

Fontes sonoras

Fonte sonora é qualquer corpo capaz de fazer o ar oscilar com ondas de frequência e amplitude detectáveis pelos nossos ouvidos. No entanto, as fontes mais variadas e ricas em qualidade sonora são os instrumentos musicais, que, de forma geral, podem ser classificados em três grandes grupos: os instrumentos de percussão (como tambor, atabaque, bongô, bateria e xilofone), os instrumentos de corda (como violino, viola, contrabaixo, harpa, piano e violoncelo) e os instrumentos de sopro (como clarineta, flauta, flautim, oboé, fagote, órgão de sopro e saxofone). Lembro também de um "instrumento" muitas vezes esquecido: nossa voz é um complexo de mecanismos presentes tanto nos instrumentos de sopro, cordas ou percussão.

Cada instrumento musical tem a característica de emitir uma mesma nota com timbre diferente dos demais instrumentos. Isso dá ao instrumento uma qualidade particular, que o torna único.

Instrumentos de percussão



Nos instrumentos de percussão, o que vale para a música é o ritmo, e não a harmonia. Acima temos a conga, o bongô, a bateria e o pandeiro.

Os sons dos instrumentos de percussão dependem da vibração da película flexível em que se bate, com baquetas ou com as mãos. A pele do tambor, por exemplo, é extremamente esticada nas bases de uma superfície cilíndrica de madeira ou de metal. As vibrações da pele e do corpo do tambor produzem o som. Em alguns tipos de tambor pode-se alterar a frequência do som variando-se previamente a tensão da pele. No timbale, o músico consegue alterar a tensão que a pele é presa ao tambor durante a execução sinfônica.

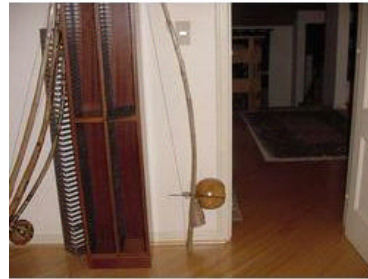
Como instrumentos de ritmo, os tambores produzem sons que diferem radicalmente dos produzidos por instrumentos mais melódicos. Um bumbo (ou zabumba) e uma tuba, por exemplo, produzem sons de muito baixa intensidade. Mas a tuba toca uma nota musical definida matematicamente, ao passo que o som do bumbo é mais explosivo do que melódico. A razão disto é que a nota da tuba é composta de um certo número de ondas sonoras, cada qual com um comprimento de onda específico, ao passo que a pele em vibração do bumbo e o seu interior cavernoso produzem um enxame desorganizado de ondas. Em vista do tamanho do bumbo, suas ondas são quase todas de baixa intensidade, mas incoerentes demais para compor uma nota reconhecível. Os tambores compreendem a subdivisão mais importante dos instrumentos de percussão. Tais instrumentos podem abranger quase tudo o que produz som quando percutido.

Instrumentos de corda



Os instrumentos de corda têm uma caixa acústica que amplifica o som produzido pela vibração das cordas, como o caso do violino, da viola, do violoncelo, do contra-baixo e do violão.

Na maioria desses instrumentos, o comprimento das cordas são geralmente variados pelos dedos da mão esquerda. Obtêm-se os diferentes tons variando tal comprimento. A harpa e o piano são exceções. Por não ser possível variar o comprimento das cordas da harpa, seus pedais variam a tensão aplicada em tais cordas. Já o piano possui cordas com tensões definidas. Utiliza-se de alavancas associadas à teclas para que se acione a corda.



Assim como o piano, o berimbau é um instrumento de corda percutida.

A maioria dos instrumentos, no entanto, possui cordas presas a um braço e sobre uma caixa acústica de madeira (utilizada para amplificar o som). A madeira e os espaços de ar no corpo de um violino, por exemplo, são essenciais na produção de um som com qualidade. Um bom violino tem a virtude especial de vibrar fielmente com cada corda e nas diversas alturas, mesmo nas mais agudas. Um violino deficiente altera as vibrações, aumentando algumas e omitindo outras.

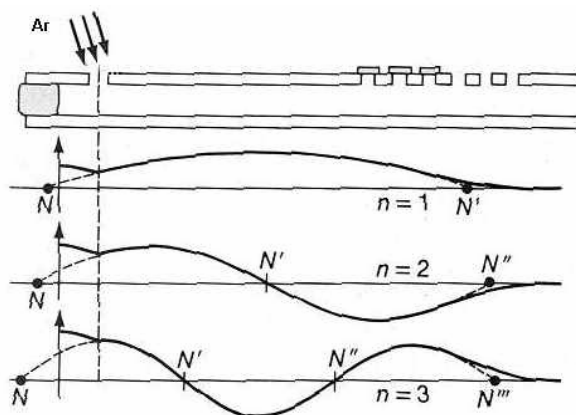
O estudo dos instrumentos de corda está baseado na teoria das ondas estacionárias, ou seja, na frequência das ondas sonoras que as cordas emitem. Essas frequências naturais dependem de três fatores: a densidade linear das cordas (a massa da corda dividida pelo volume que a mesma ocupa), o módulo da tração a que elas estão submetidas (se a corda está mais apertada ou frouxa no braço do instrumento) e o comprimento linear da corda.

Instrumentos de sopro



Exemplos de instrumentos de sopro: clarineta, clarone, fagote, oboé, sax alto, sax soprano, sax tenor e sax barítono.

Nos instrumentos de corda, os músicos vibram tais cordas e esta vibração se transmite ao instrumento, que vibra o ar, produzindo o som que chega a nossos ouvidos. Por outro lado, nos instrumentos de sopro, o músico vibra o ar diretamente, utilizando-se dos próprios lábios, da força do diafragma e do controle das aberturas do instrumento (com seus dedos).



Através do movimento do ar dentro da coluna de ar, temos o som dos instrumentos de sopro e seus harmônicos.

Se soprarmos várias garrafas (que contenham quantidades distintas de água) por seu gargalo, perceberemos diferentes sons. As que contiverem mais ar (consequentemente menos água) produzirão um tom mais baixo do que as outras. A coluna de ar mais longa, tal como a corda mais longa, produz um som mais grave.

Na maioria dos instrumentos de sopro, da flauta ao órgão, muda-se a frequência do som alterando-se o comprimento da coluna de ar. Em instrumentos onde o ar é movimentado pela boca do instrumentista, o músico aumenta a coluna de ar cobrindo os orifícios do instrumento e a diminui os descobrindo. Isso é feito com as pontas dos dedos diretamente ou com auxílio de teclas ou chaves. No entanto, o órgão de sopro (comumente utilizado em igrejas góticas) movimenta o ar através de um mecanismo próprio, e o controle da coluna de ar se dá por meio das teclas que acionam tubos de diferentes comprimentos e diâmetros.

O bocal de uma clarineta, por exemplo, tem uma lâmina fina de bambu, conhecida como "palheta". Soprando no bocal, a palheta vibra, produzindo, deste modo, uma onda sonora que se propaga para a extremidade aberta do instrumento, onde é parcialmente refletida. A onda refletida volta para o bocal, reflete-se de novo, e assim por diante. As ondas, viajando de uma extremidade para outra do tubo, fazem a palheta vibrar com uma certa frequência. Se encurtássemos o tubo, as ondas viajariam uma distância menor, voltando ao ponto de partida em menos tempo; a frequência seria assim aumentada e o som se tornaria mais agudo. Em vez de cortar o tubo, pressionamos teclas de modo a abrir os orifícios existentes nos lados. Isto tem o mesmo efeito que encurtar o tubo, formando uma escala.

No trombone de vara, faz-se o aumento e a redução da coluna de ar movimentando para dentro e para fora um tubo em forma de U (isto é, encurtando ou aumentando o comprimento do tubo). Em outros instrumentos, como a corneta, a tuba, o clarim, a trompa e o trombone, o que produz a vibração do ar é a vibração dos lábios do músico.



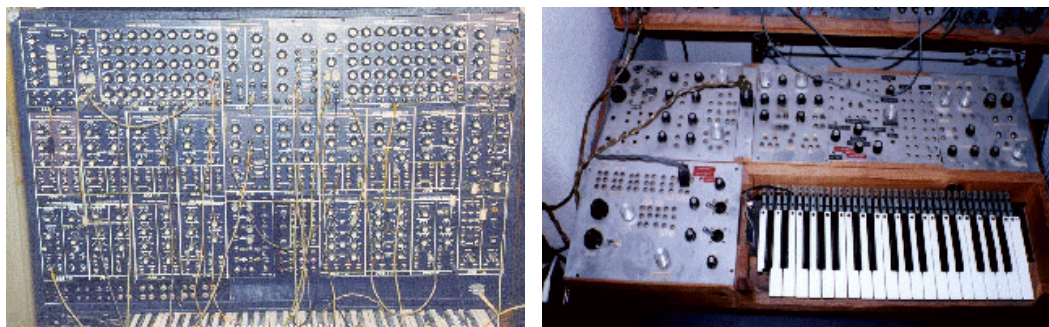
No trompete de vara a coluna de ar é variada movendo a extensão em forma de U.

Hoje em dia, com o avanço da eletrônica em todas as modalidades do conhecimento humano, os instrumentos acabaram se subdividindo em duas categorias: os acústicos (corda, sopro e percussão) e os eletrônicos.

Instrumentos Eletrônicos

Datam da década de 1960 e são compostos por sintetizadores. São exemplos a guitarra, o teclado, o contra-baixo, etc. Hoje em dia, quase todo instrumento tem sua versão eletrônica.

Há aproximadamente 40 anos foi criado o que veio a ser chamado sintetizador, que nada mais é do que um aparelho capaz de criar uma infinidade de timbres sonoros. Quando o instrumentista aperta uma das teclas do sintetizador, este acaba produzindo eletronicamente a frequência correspondente, junto com um grande número de harmônicos. Em seguida estes harmônicos são amplificados e ajustados a fim de dar uma maior ou menor intensidade nesta frequência específica. A somatória de todas as frequências de saída denominam-se "som sintetizado".



Um sintetizador consegue reproduzir sons em diversos timbres, simulando outros instrumentos.

Com a finalidade de criar um som, o músico faz ajustes nas intensidades das frequências envolvidas, a fim de conseguir um timbre que o satisfaça. Porém, antes de 1985, não era possível conseguir sons contendo timbres naturais, como o violino ou o trompete, devido ao fato destes instrumentos produzirem um número muito grande de harmônicos em seus sons.

Com a invenção do *sampler* ("amostrador"), criou-se o caminho inverso, ou seja, este dispositivo era capaz de captar os sons produzidos por algum instrumento musical e armazená-los em sua memória. Com os conseqüentes avanços no campo da eletrônica, hoje em dia já se produzem cd's totalmente compostos por sons sintetizados, imitando guitarra, flauta, baixo, etc. Existem modernos teclados eletrônicos que produzem os sons de diversos instrumentos, uma verdadeira orquestra em um único aparelho.

Por fim, acompanhando os avanços dos instrumentos eletrônicos, surgiu uma linguagem de transmissão de dados digital especialmente destinada à música, denominada MIDI (do inglês: *musical instrument digital interface*), que interliga qualquer instrumento musical a um sintetizador por meio de um cabo conector. Deste modo, caso se registre no *sampler* do sintetizador o som de uma tuba, pode-se conectar outro instrumento musical, por exemplo um banjo, e, ao tocá-lo, sairá o timbre musical da tuba.

Assim, música é pura arte, mas mesmo a mais essencial das artes pode ser avaliada e estudada pelo universo da Física.

© **Revista Eletrônica de Ciências - Número 25 - Abril de 2004.**

Naylor Oliveira - *Licenciatura em Ciências Exatas da Universidade de São Paulo - USP - Campus São Carlos, Monitor do CDCC - USP e Professor Estagiário do Colégio Objetivo* (e-mail: naylor@cdcc.sc.usp.br)