

1

Elementos da música e acústica

[Os sons naturais] são promessas de música; é preciso um ser humano para as cumprir: um ser humano que seja sensível às muitas vozes da Natureza, claro, mas que, além disso, sinta a necessidade de as organizar e que seja dotado de uma aptidão muito especial para essa tarefa. Nas suas mãos, tudo o que considerarei como não sendo música tornar-se-á música. Concluo que os elementos tonais só se tornam música em virtude de serem organizados, e que tal organização pressupõe um acto humano consciente.

IGOR STRAVINSKY, *Poetics of Music: In the Form of Six Lessons* (1942), p. 23

Da natureza da música

Ao definir o conceito de música, recorre-se com frequência à noção de que esta é uma sequência de sons organizados — uma composição musical caracteriza-se, assim, por sons numa certa ordem, intercalados por intervalos de silêncio. Todavia, esta definição pode ser excessivamente

abrangente, dado existirem múltiplos exemplos de sons organizados que nem sempre se qualificam como música.

Para uma definição mais precisa de música, importa dizer que a organização dos sons musicais se caracteriza, em geral, por elementos como a harmonia, o ritmo e a melodia — termos de origem grega mencionados na introdução. A harmonia refere-se à combinação simultânea de diferentes sons ou notas, criando uma sonoridade que pode ser consonante (agradável e estável, como no caso de duas cordas em que uma possui o dobro do comprimento da outra) ou dissonante (tensa e instável). O ritmo, por sua vez, refere-se à disposição, acentuação e duração dos sons no tempo, estabelecendo a estrutura temporal da composição através de padrões de pulsação e pausas. Finalmente, a melodia consiste numa sequência de sons de alturas e durações variadas, à qual o ouvido atribui uma unidade perceptível, identificando-a como uma entidade única.

Para se perceber melhor os conceitos de melodia e harmonia, considere-se uma pauta musical comum. Podemos vê-la como um gráfico em que o eixo horizontal corresponde ao tempo e o eixo vertical à altura do som, isto é, a qualidade de ser mais grave ou mais agudo. Pode dizer-se que a melodia é o resultado do modo como diferentes grupos de sons se relacionam horizontalmente entre si, enquanto a harmonia tem a ver com a sua relação vertical. O compositor grego Iánnis Xenákis (1922-2001), que explorou criativamente a intersecção entre a música e a matemática, considerava que a música precedeu a geometria cartesiana precisamente porque pode ser representada por essas duas coordenadas não espaciais: o tempo e a altura dos sons.

O que são os sons? Para responder a esta questão, é necessário recorrer ao domínio da física. Os sons são ondas de pressão mecânicas que transportam energia de um local para outro através de um meio elástico, que pode ser gasoso,

líquido ou sólido, como, respectivamente, o ar, a água ou o cobre. Essas ondas são mais lentas no ar do que nos líquidos e mais lentas nos líquidos do que nos sólidos, devido ao maior espaçamento e menor ligação entre as partículas constituintes dos materiais quando se vai de gás para sólido, passando por líquido. Uma onda mecânica não é uma entidade localizada como uma partícula, que possui uma certa massa concentrada num certo sítio. Pelo contrário, uma onda não tem massa (tem, sim, energia) e está espalhada no espaço. Representa o movimento de uma perturbação — diz-se, na linguagem da física, uma «vibração» — através de um meio material. Uma onda mecânica solitária (chamada «pulso») pode ser exemplificada pela «onda mexicana» (*ola* em espanhol), que frequentemente vemos nas bancadas dos estádios durante competições desportivas. Nela, cada pessoa participa levantando-se e erguendo os braços por um momento, antes de se sentar novamente. Este movimento é passado de uma pessoa para a seguinte: a pessoa à direita da anterior (ou à esquerda, dependendo do sentido da onda) também se levanta e ergue os braços, e, quando se senta, a pessoa ao seu lado repete o movimento, e assim sucessivamente. Deste modo, a acção «levanta-senta» percorre todo o estádio, voltando ao mesmo sítio. É óbvio que quem a realiza não circula pelo estádio: permanece no mesmo sítio e apenas a acção de «levanta-senta» se desloca. A multidão no estádio representa o meio através do qual a onda viaja. Se todos os espectadores se mantivessem sentados e quietos, o meio estaria em equilíbrio, mas, logo que alguém se levanta, ocorre de imediato uma perturbação. É a propagação dessa perturbação ao longo da bancada do estádio que se designa por *onda*. Se sacudirmos com uma acção manual uma corda poderemos provocar uma onda solitária, mas, se continuarmos a sacudir a corda repetidamente da mesma maneira, obteremos uma onda contínua. As ondas do mar são bons exemplos de ondas contínuas, sendo o vento a sua causa natural.

Todas as ondas são causadas por uma perturbação. As ondas sonoras são criadas por uma fonte vibratória, que pode ser, por exemplo, as cordas vocais de um indivíduo, as cordas e a caixa de um violino, a coluna de ar de um trompete, ou ainda a membrana e a caixa de um tambor. As vibrações da fonte são transmitidas às partículas de ar em volta, que começam também a vibrar. Quando as partículas de ar entram em vibração colectiva, num movimento ordenado que se sobrepõe ao seu movimento desordenado de fundo, sempre presente, ocorre uma variação ligeira na pressão do ar naquele local. Tal perturbação é transmitida às partículas vizinhas mais próximas, fazendo-as sair das suas posições de equilíbrio e também começar a vibrar. Este movimento conjunto de partículas propaga-se por todo o meio, embora ocorram fenómenos de dissipação, ou seja, perdas de energia. Longe da fonte, as partículas vibram menos e a variação de pressão tem menor amplitude, não só devido às perdas de energia, mas também porque a energia se distribui por uma área maior.

Se a direcção da perturbação é paralela à propagação da onda, diz-se que a onda é longitudinal: é o que ocorre com as ondas sonoras. O movimento longitudinal dessas ondas cria regiões no ar onde as partículas se concentram, formando zonas de maior pressão (compressão), bem como regiões onde as partículas de ar se rarefazem, criando zonas de menor pressão (rarefacção). Esta alternância entre compressões e rarefacções está representada na figura 1.1. As compressões e rarefacções propagam-se ao longo do meio de uma maneira muito semelhante ao que acontece com as ondas na superfície da água.

O comprimento de onda de uma onda sonora é a distância entre duas compressões (ou rarefacções) mais próximas. Por sua vez, o período é o tempo necessário para que uma compressão (ou rarefacção) ocorra novamente no mesmo ponto, ou seja, o tempo após o qual a situação se repete.

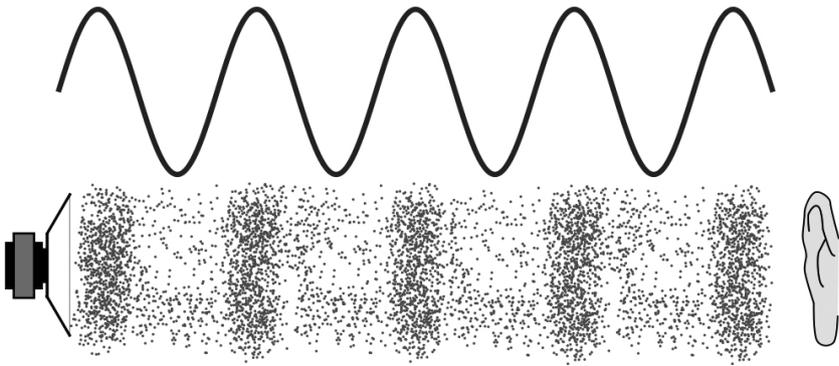


Figura 1.1 — Em cima: Representação de uma onda sonora, com indicação das zonas de compressão e de rarefacção do ar. Em baixo: Nos máximos da onda a pressão é maior e nos mínimos a pressão é menor

A velocidade da onda é a razão entre o comprimento de onda e o período, e mede a rapidez com que a onda se propaga. Sendo a frequência definida como o inverso do período, a velocidade da onda é dada pelo produto do comprimento de onda pela frequência. A velocidade de uma onda sonora varia conforme o meio, sendo maior em sólidos do que em gases (no ar, a velocidade do som é cerca de 340 metros por segundo, enquanto no granito, por exemplo, é 6000 metros por segundo). No entanto, como a velocidade da onda é constante no mesmo meio, o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais: quanto maior for o comprimento de onda, menor será a frequência e vice-versa. Como, em cada período, um máximo ocorre apenas uma vez num determinado ponto, a frequência pode ser vista como o número de vezes que uma compressão (ou rarefacção) ocorre nesse ponto por unidade de tempo, sendo medida em hertz (símbolo Hz) no Sistema Internacional de Unidades. Este nome presta homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), que, em 1887, descobriu um método para produzir ondas de rádio, também chamadas *hertzianas*, que são uma forma de luz invisível (em tudo semelhante à luz visível, excepto nas suas frequências, que são muito menores).

Ao conjunto de formas de luz, que inclui não só a luz visível e as ondas de rádio, como as microondas, os infravermelhos, os ultravioletas, os raios X e os raios gama, chamamos espectro de ondas electromagnéticas. Para descrever os sons musicais usamos normalmente as suas frequências e não os comprimentos de onda, embora as duas grandezas sejam, como vimos, convertíveis uma na outra. Por exemplo, o som que actualmente é usado como padrão de afinação musical é o lá de 440 hertz.

Resta ainda definir uma outra propriedade da onda sonora: a sua amplitude, que corresponde à diferença entre os valores da pressão do ar no equilíbrio e nas compressões ou nas rarefacções máximas. Portanto, uma onda, sonora ou outra (como uma onda de luz, ou radiação electromagnética), caracteriza-se pela sua velocidade, pela sua frequência (ou pelo seu comprimento de onda) e pela sua amplitude.

O som que ouvimos é transportado por ondas no ar. Devemos, por isso, ser capazes de relacionar as características de um som que percebemos com as características básicas das ondas. Cada som que ouvimos possui três propriedades características: *altura*, medida pela frequência ou frequências da onda ou ondas (um som pode ser uma sobreposição de ondas), *intensidade*, que tem a ver com a amplitude das ondas, e *timbre* ou «cor», que tem a ver com a mistura de ondas que compõem o som complexo (isto é, som que não é simples). Além disso: o som tem uma duração, quer dizer, pode prolongar-se mais ou menos no tempo.

Um som pode ser mais alto (agudo) ou mais baixo (grave), conforme a frequência da fonte que vibra, isto é, o seu número de vibrações por segundo. Quanto maior for a frequência, mais agudo será o som, e quanto menor for aquela mais grave ele será. O ouvido humano, que evoluiu ao longo do tempo no sentido da melhor adaptação do ser humano ao seu meio ambiente, só consegue captar sons dentro de uma certa gama de frequências. O limiar inferior dos nossos ouvidos é de cerca

de 16 a 20 vibrações por segundo, ou seja, 16 a 20 hertz, e o superior de cerca de 20 000 a 25 000 hertz. Por essa razão, qualquer som com frequência inferior a 20 hertz é classificado como *infra-som* e qualquer som com frequência superior a 20 000 hertz é classificado como *ultra-som*. Portanto, tal como os olhos, no caso da luz, os nossos ouvidos estão limitados a perceber apenas uma pequena janela de sons. Somos, porém, mais sensíveis aos sons com frequências que se situam entre 1000 e 3000 hertz. Outros animais ouvem de maneira algo diferente de nós. Os cães, por exemplo, conseguem detectar sons com frequências entre 50 hertz e 45 000 hertz e, no caso de morcegos e golfinhos, os limiares superiores chegam a 120 000 hertz e a 200 000 hertz, respectivamente. Em contraste, os elefantes, cujo intervalo de audição se situa entre 5 hertz e 10 000 hertz, possuem a capacidade de ouvir infra-sons.

Em geral, a voz feminina é mais aguda do que a masculina, isto é, compõe-se de sons de maior frequência. No canto, as vozes humanas distinguem-se entre baixos, barítonos e tenores, no caso dos homens, e contraltos, meios-sopranos (ou *mezzo-sopranos*) e sopranos, no caso das mulheres. Esta distinção baseia-se na gama de frequências das ondas sonoras que o aparelho fonador das cantoras e cantores consegue produzir. Assim, a voz de uma cantora soprano é, em geral, mais aguda (com sons de maior frequência) do que a voz de uma cantora contralto, ficando a meio-soprano, como o nome indica, numa situação intermédia. Por seu turno, um tenor soa mais agudo do que um baixo, encontrando-se o barítono entre eles. Dois dos expoentes do canto operático, também dito *lírico*, foram o italiano Luciano Pavarotti (1935-2007), que era tenor, e a greco-americana Maria Callas (1923-1977), que era soprano.

A intensidade de um som, por sua vez, é uma grandeza que depende da amplitude da onda a ele associada. Quanto maior for a sua amplitude, mais intenso, isto é, mais forte, será o som correspondente (figura 1.2). Não deve ser confundido um som mais forte (de maior amplitude) com um som mais

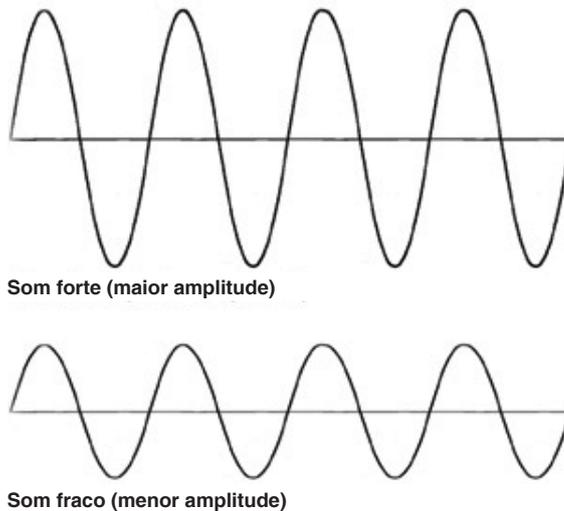


Figura 1.2 — Intensidade do som. Em cima, representação de uma onda de um som forte; em baixo, representação de uma onda de um som fraco

alto (de maior frequência) porque amplitude e frequência são características bem distintas de um som. A linguagem vulgar não ajuda, contudo, a fazer esta distinção, porque, quando pedimos a alguém para falar mais alto, para ouvirmos melhor, queremos que essa pessoa fale mais forte e não que fale com uma frequência maior.

Os termos «intensidade» e «volume» de som são usados para descrever basicamente o mesmo fenómeno, mas, ao passo que a intensidade de um som específico pode ser medida por apenas por parâmetros físicos, o volume sonoro traduz a sensação psicológica de intensidade, na qual também estão envolvidos parâmetros psicológicos com uma natureza mais subjectiva. A intensidade de uma onda sonora mede a quantidade de energia transportada por unidade de tempo — conhecida como potência — e por unidade de área, sendo normalmente medida em watts por metro quadrado (símbolo: W/m^2). Tal como foi referido, a intensidade de um som específico depende da amplitude da sua onda, não tendo a ver com a frequência.

Distingue-se entre a potência sonora da fonte de som e a intensidade sonora medida a uma certa distância. A potência sonora refere-se à energia total que a fonte de som emite por unidade de tempo, enquanto a intensidade sonora é a energia sonora que passa por unidade de área a uma determinada distância da fonte (é inversamente proporcional ao quadrado da distância à fonte, porque a área de uma superfície esférica é proporcional ao quadrado do raio). Os nossos ouvidos conseguem detectar ondas sonoras com uma intensidade tão baixa quanto 1×10^{-12} W/m², ou seja, 0,000 000 000 001 W/m². Este valor corresponde a uma onda de pressão em que a compressão das partículas do meio aumenta a pressão do ar em apenas 0,000 000 003 de uma atmosfera, que é a pressão atmosférica normal ao nível do mar, causada pelo peso da atmosfera sobre a Terra. O som mais fraco que o ouvido humano consegue detectar é conhecido como *limiar de audição*. Como a gama de intensidades sonoras que conseguimos captar é bastante ampla, utiliza-se a chamada *escala de decibéis* (dB), que é uma escala logarítmica. Numa escala deste tipo, cada incremento linear corresponde a um aumento de uma potência numa certa base; no caso do som, utiliza-se a base 10. Ao limiar de audição humano é atribuída uma intensidade sonora de 0. A um som 10 vezes (10^1) mais intenso corresponderá um nível sonoro de 10 decibéis; se for 100 (10^2) vezes mais intenso corresponder-lhe-á 20 decibéis; a um outro com 1000 (10^3) vezes mais intensidade corresponderá 30 decibéis, e assim por diante. A título ilustrativo, refira-se que uma conversa normal entre duas pessoas produz um som de 60 decibéis; um secador de cabelo a trabalhar produz 90 decibéis; uma orquestra sinfónica numa sala de concerto 98 decibéis; e um avião a jacto a descolar 140 decibéis. O limiar de dor causada por ruído varia entre 120 e 130 decibéis, razão por que as vuvuzelas (127 decibéis) usadas por alguns espectadores de jogos de futebol são tão penosas de ouvir. Acrescente-se que um decibel é a décima parte de um bel, unidade que presta homenagem ao físico e inventor nascido

na Escócia e naturalizado norte-americano Alexander Graham Bell (1847-1922), a quem a invenção do telefone costuma ser atribuída. O plural «decibéis» entrou no uso corrente, mas alguns puristas da língua insistem que o plural de «bel» deve ser «bels» e, portanto, se deverá dizer «decibels».

O timbre, o terceiro parâmetro do som, é o que nos permite distinguir entre diferentes instrumentos e vozes, mesmo quando tocam ou cantam a mesma nota. Por exemplo, quando ouvimos um lá tocado num piano e o mesmo lá tocado numa guitarra, percebemos intuitivamente que o som é diferente, apesar de a nota ser a mesma. A essa diferença chama-se timbre. Ela é causada pelos harmônicos, que são ondas com frequências adicionais que acompanham a frequência fundamental (ou principal) da nota. A cada harmônico corresponde uma frequência que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. O timbre de um instrumento resulta da forma como os seus harmônicos se combinam. Embora os harmônicos possam ter baixa intensidade e não ser audíveis isoladamente, são eles que, em conjunto, conferem ao som do instrumento o seu timbre característico.

Num som puro, existe apenas a frequência fundamental; em contraste, num som composto há uma sobreposição de múltiplas frequências harmônicas. Qualquer som pode ser decomposto nas frequências que o constituem, sendo essa decomposição conhecida como espectro sonoro. Diferentes combinações de harmônicos resultam em espectros distintos, o que se traduz em timbres diferentes. Por outro lado, o ruído caracteriza-se por um contínuo de ondas de muitas frequências, sem uma estrutura harmônica definida. Existem vários tipos de ruído, como o *ruído branco* e o *ruído rosa*, que diferem na forma como as ondas de diferentes frequências se distribuem e sobrepõem no espectro sonoro. O ruído branco é um som que contém todas as frequências audíveis (normalmente de 20 hertz a 20 000 hertz) com igual intensidade, sendo frequentemente utilizado para mascarar sons indesejáveis. Por sua vez, o ruído

rosa também abrange todas as frequências audíveis, mas a intensidade de cada frequência diminui conforme a frequência aumenta. Este tipo de ruído é por vezes usado em ambientes terapêuticos para ajudar a relaxar ou a induzir o sono.

Posto isto, pode-se imaginar o complexíssimo padrão de ondas sonoras geradas na execução de uma obra como a *Sinfonia N.º 8*, de 1910, do compositor austríaco Gustav Mahler (1860-1911), também conhecida como a *Sinfonia dos Mil*. A uma enorme orquestra sinfónica, acompanhada de órgão, associam-se dois coros — um infantil e outro de adultos —, além de oito solistas. Na primeira parte, Deus é louvado como a fonte de todo o amor, com base num texto em latim do século IX — *Veni Creator Spiritus* — e em textos bíblicos. Na segunda parte, são glosadas as palavras finais de *Fausto — Parte II* (1832), do alemão Johann Wolfgang von Goethe: «Tudo o que é efémero é apenas uma parábola...». Uma composição verdadeiramente grandiosa!

As notas musicais

A mais antiga informação escrita sobre música de que se tem conhecimento foi registada em placas de argila na Babilónia (actualmente, Iraque) por volta de 1400 a. C. Uma dessas placas (pertencente ao Museu Nacional de Damasco, na Síria) encontra-se quase completa e contém a letra de um hino a Nikkal, uma divindade, assim como instruções para a execução do canto, acompanhado por um tipo de lira de nove cordas. No entanto, a primeira notação musical é atribuída aos antigos gregos, tendo ocorrido no século VII a. C., segundo alguns autores, ou no século III a. C., segundo outros. Esta notação utilizava letras — possivelmente seleccionadas com base nas cordas da cítara — para indicar a altura das notas, enquanto a duração das mesmas era marcada com símbolos escritos acima delas. Embora vários fragmentos tenham sido

preservados, apenas uma única composição chegou até nós na sua totalidade: o *Epitáfio de Sículo*, gravado numa lápide no século II d. C., nas proximidades de Éfeso, na actual Turquia (figura 1.3) — actualmente encontra-se no Museu Nacional da Dinamarca, em Copenhaga. Na Europa, a notação musical grega perdeu-se com a queda do Império Romano do Ocidente, e a sua posterior decifração só foi possível graças aos tratados de teoria musical romanos dos primeiros séculos da era cristã.

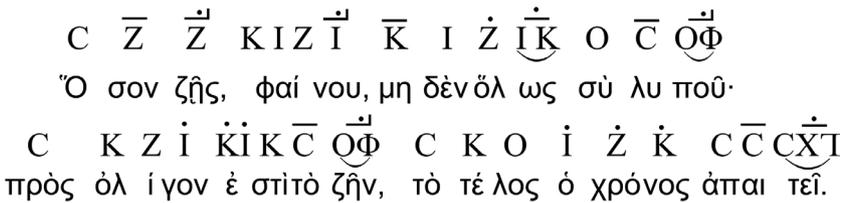


Figura 1.3 — *Epitáfio de Sículo* (provavelmente do século I d. C.). Acima do texto, encontra-se uma linha com letras e sinais que representam as notas

No sistema de pauta musical actualmente utilizado, as notas padrão, que são sete, são escritas em pautas de cinco linhas. Foi um monge medieval italiano, Guido d'Arezzo (992-1050), quem deu às notas musicais os nomes que hoje nos são familiares: dó (inicialmente *ut*), ré, mi, fá, sol, lá e si (este último foi introduzido posteriormente; no início, era *san*), de frequências crescentes. Para isso, ele baseou-se nas iniciais dos versos de *Ut queant laxis*, um cântico de louvor a São João Baptista, atribuídos ao monge italiano Paulo, o *Diácono* (c. 720-799):

Ut queant laxis
Resonare fibris
Mira gestorum
Famuli tuorum
Solve polluti
Labii reatum
Sancte Iohannes