

páginas Web directamente ligadas por links de hipertexto. E são exactamente as propriedades topológicas destas redes que reúnem vários sistemas biológicos e tecnológicos numa mesma categoria: sítios que não estão directamente ligados estão separados por um número muito pequeno de conexões e alguns (poucos) sítios possuem um número grande de conexões, enquanto muitos outros são pouco conectados.

A verificação experimental de que vários sistemas possuem tais propriedades levou a uma revolução no estudo de redes complexas, devidamente documentada por dois dos mais activos participantes desta revolução: José Fernando Mendes, da Universidade de Aveiro, e Sergei Dorogovtsev, do Instituto Ioffe, em São Petesburgo. O livro "Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW" constitui actualmente a melhor referência no tema, contendo uma bibliografia bastante completa, documentação das observações empíricas mais relevantes e um desenvolvimento matemático cuidadoso dos modelos propostos para a criação e evolução de tais redes - muitos deles desenvolvidos pelos próprios autores.

Após uma introdução ao conceito de redes e definição concisa das propriedades topológicas de interesse, os autores expõem uma lista extensa de sistemas naturais e tecnológicos que podem ser mapeados em redes e suas respectivas propriedades topológicas. Os capítulos 4 e 5 constituem o cerne do livro, com uma descrição detalhada da teoria matemática de redes. Usando ferramentas da mecânica estatística, como teoria de ensembles, equações-mestras e teoria de escala, os autores chegam a resultados gerais para as propriedades topológicas de redes cuja evolução se dá somente pela adição e remoção de ligações (chamadas redes em equilíbrio, por analogia com sistemas em equilíbrio termodinâmico) e redes cuja evolução inclui também a adição de novos sítios no sistema (chamadas redes de não-equilíbrio, por analogia com sistemas onde não se atinge o equilíbrio). A leitura dos capítulos 4 e 5 requer conhe-

cimentos medianos de probabilidade e estatística e, acompanhados das devidas referências, podem ser facilmente adaptados para um curso de tópicos de mecânica estatística.

Outra questão importante discutida pelos autores no capítulo 6 é a da robustez de tais redes frente a falhas aleatórias ou ataques a sítios específicos. Espera-se, por exemplo, que sistemas biológicos sejam resistentes a falhas, como a morte de um neurónio no cérebro ou a deficiência na produção de um determinado metabolito. A resiliência de tais redes face a falhas aleatórias deriva da estrutura topológica das redes associadas com tais sistemas e acarreta invariavelmente uma fragilidade de tais sistemas face a ataques a sítios altamente conectados, como mostra a teoria de percolação em redes. Outros tópicos abordados neste capítulo envolvem a transmissão de informação em redes - importante para o estudo da propagação de doenças em redes sociais e vírus de computador na Internet - e o comportamento crítico do modelo de Ising em redes complexas.

Especulações acerca da relação entre evolução de redes, criticalidade auto-organizada e processos estocásticos com ruído multiplicativo encerram o livro, deixando o leitor com uma mensagem final: vivemos num mundo repleto de redes - sociais, económicas, biológicas ou tecnológicas - e a identificação de princípios organizacionais comuns representa um passo importante para o seu entendimento.

Este livro representa para a comunidade da Física uma referência indispensável no assunto.

Márcio Argollo Ferreira de Menezes  
Departamento de Física, Universidade de Notre Dame, EUA,  
mdemenez@nd.edu

## A FÍSICA DA MÚSICA



Luís L. Henrique, "Acústica Musical", Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2003

As relações entre arte e ciência são muitas e variadas. O praticante de qualquer uma delas procura a harmonia. A prática de cada uma delas exige criatividade. Mas, se há uma arte em que a harmonia e a criatividade aparecem muito claramente, essa arte é a música. E, se há uma ciência em que a harmonia e a criatividade dão o "tom", essa ciência é a física. Não admira por isso que haja relações especiais entre a música e a física.

A parte da física que trata a música é a "acústica musical". A acústica é o capítulo da física que estuda o som (o nome vem da palavra grega "akouein", que significa ouvir). E a acústica musical é o capítulo da acústica que se debruça sobre o som musical, o som harmonioso, o som que não é ruído, embora a distinção entre esse som e os outros não seja tão clara quanto à primeira vista possa parecer.

Foi Pitágoras, o grande sábio grego envolto em lenda do qual nenhum escrito nos chegou, quem terá realizado as primeiras experiências com cordas vibrantes, usando o chamado monocórdio. Terá verificado que, quanto mais pequena fosse a corda, mais agudo era o som e terá até chegado a uma relação quantitativa entre o tamanho da corda e

a altura do som. Pitágoras foi mais longe: os números estão por todo o lado do Universo (nisto antecipou Galileu) e a música é uma representação da harmonia do Universo (um tema que viria a ser glosado por Kepler).

Pitágoras foi pois o avô da acústica musical. Seguiu-se uma longa história, que ainda decorre. Com efeito, a investigação sobre acústica musical mantém-se actual. Essa história vem contada no primeiro capítulo de um extraordinário livro: "Acústica Musical", de Luís L. Henrique. O livro é extraordinário em vários sentidos: em primeiro lugar pelo seu volume (e peso!). O autor abarca todos os domínios da Acústica Musical nas 1130 páginas da obra. Em segundo lugar, vem acompanhada de um disco compacto, com exemplos vários de sons musicais (aparecem, entre outros, os sons da guitarra de Pedro Caldeira Cabral). E, em terceiro lugar, embora dirigindo-se preferencialmente, aos praticantes de música, o autor não foge à matemática, o que está certo porque, como Pitágoras e Galileu afirmaram, a matemática está por todo o lado do mundo e, portanto, está também nessa parte do mundo que é o som.

É a primeira obra alargada em português sobre a acústica musical. O autor, que fez uma ampla consulta bibliográfica na preparação do livro, refere apenas dois livros anteriores do mesmo género: Luís de Freitas Branco, "Elementos de Ciências Musicais. Vol. I, Acústica", Lisboa, edição do autor, 1929, e Pedro Martins da Silva, "Elementos de Acústica Musical", Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1989. O primeiro desses autores era músico e o segundo é físico. Mas repare-se que nenhuma dessas edições está facilmente disponível. Pelo contrário, o livro de Luís Henrique está facilmente disponível pela edição cuidada da Fundação Gulbenkian, à qual não se devem regatear elogios pelo seu plano de edições, que tem uma extraordinária relação qualidade-preço para professores e alunos.

Luís Henrique é músico e professor de música no Porto. Ao folhear o seu volume forçoso é deduzir que fez um

esforço fora do comum para "entrar" na Física dos sons, em particular dos sons emitidos pelos vários instrumentos musicais. Começa no capítulo 2, depois de ter definido a acústica musical e ter abordado a sua história, por descrever sistemas vibratórios simples, dando exemplos de relevo para a arte musical (o diapasão). Depois passa para os sistemas vibratórios complexos, para as ondas, para a análise de sons e instrumentação acústica e vibratória. A partir do capítulo 7, fazem-se ouvir os instrumentos musicais (o fazer-se ouvir é literal por causa do CD): os cordofones, friccionados ou dedilhados ou de tecla, os membrafones, os idiofones, os aerofones (flautas, palhetas, metais, órgão, voz) e os modernos electrofones. Os capítulos finais tratam da experimentação e inovação em instrumentos musicais, da acústica de salas - um ramo da acústica muito complexo e com conhecidas aplicações (nos exemplos, o autor não se esquece de incluir o Grande Auditório da Gulbenkian), o sistema auditivo humano, a percepção de sons musicais, o registo e reprodução de sons (cujas aplicações, que vão das gravações à reprodução doméstica de som num aparelho de alta fidelidade, são também bem conhecidas), os intervalos e a afinação dos instrumentos e as escalas e temperamentos (voltando, como que em fecho de círculo, a Pitágoras e ao diapasão). Alguns apêndices destinam-se a ajudar o leitor menos familiarizado com a Física e a matemática, tratando de grandezas, unidades e dimensões, conceitos físicos da acústica, noções de matemática, etc. (o último apêndice enumera e descreve os exemplos musicais do CD).

É, sem dúvida, um grande livro, que se recomenda não só aos profissionais e amadores da execução musical, mas também a todos, e são muitos, interessados pela música - os melómanos - que passaram a dispor de um elemento de consulta precioso para esclarecer as suas dúvidas sobre a ciência e tecnologia musical. Alguns ficarão intimidados pela matemática e pela física, mas esses, além de ouvirem o CD, podem sempre ler as pequenas caixas, que em profusão, aparecem por todo o livro e que contêm algumas curiosidades na área da acústica. Há um índice de caixas, logo no início, a

seguir ao índice geral (no fim há utilísimos índices de nomes e de assuntos), em que se afloram questões como o eventual aperfeiçoamento de um Stradivarius (talvez não...), se é ou não possível ouvir a forma de um tambor (isto é, se o espectro dos sons emitidos permite inequivocamente determinar a fronteira da membrana, um problema matemático que já deu pano para muitas mangas), a questão se o ouvido humano é sensível à diferença entre analógico e digital (entre o LP e o CD, ou ainda entre um amplificador a válvulas ou um amplificador a transístores: a discussão permanece), qual é o melhor piano do mundo (desfaça-se já o mistério: para o pianista Cláudio Arrau, é um Steinway, que se encontra na Salle de Musique da cidade suíça de La Chaux-de-Fonds) e se a orquestra deve ou não afinar pelo oboé (em resposta à questão; já houve tentativas de afinação por uma fonte electrónica mas os músicos não gostaram!)

Por falar em erros, este livro tem muito poucos para o tamanho e para a complexidade dos assuntos tratados. Tem de se reconhecer o cuidado que o autor e a editora colocaram na revisão. Há pequenos erros, que poderão ser emendados se esta edição, como merece, se esgotar e o público exigir uma outra. Assim, só para dar alguns exemplos, o ponto aparece em vez da vírgula na notação de números com decimais, o símbolo de graus Celsius aparece mal grafado (a bolinha e o C de Celsius têm de estar juntas), a equação (2-17) não descreve o estado dos gases mas sim uma transformação adiabática, etc. Mas eles não desafinam o som geral da orquestra que é bastante afinado.

Caros leitores que gostem de música e queiram saber mais sobre a ciência e a técnica por detrás dela: têm ao seu alcance em língua portuguesa um recurso incontornável.

Carlos Fiolhais  
tcarlos@teor.fis.uc.pt