

RONALD RANVAUD

THENILLE BRAUN JANZEN



O tempo no
mundo, na vida e
no laboratório



*“Le temps s’en va, le temps s’en va, Madame!
Las! Le temps, non! Mais nous nous en allons”
(Pierre de Ronsard –1524-85)*.*

* Em tradução bem livre: “O tempo se vai, minha Senhora... o tempo se vai! Aliás...! O tempo, não! Mas nós, nós sim nos vamos...”.

RONALD RANVAUD

é professor do
Instituto de Ciências
Biomédicas da USP.

THENILLE

BRAUN JANZEN

é mestranda do
Instituto de Ciências
Biomédicas da USP.

NO MUNDO

Tempo, um fundamento da mecânica?



E

stamos geralmente acostumados a considerar espaço e tempo como dois aspectos fundamentais do mundo. A física newtoniana se apoiou na noção, de certa forma preexistente, de distâncias (L) e tempos (T) como quantidades distintas e, ao lado da massa (M), fundamentos da mecânica. Todas as quantidades tratadas na mecânica (velocidade, momento, aceleração, força, etc.) podem ser reduzidas a produtos ou quocientes dessas

dimensões—e dessas apenas—, sendo fundamentais. Velocidade, v , por exemplo, seria a razão entre distância e tempo (significando distância percorrida a cada unidade de tempo: $v = L/T$) e aceleração, a , a mudança da velocidade em unidade de tempo ($a = v/T$, ou $a = L/T^2$). Aqui já temos uma pequena complicação na figura do “tempo ao quadrado”, mas, falando de aceleração, está razoavelmente claro que estamos lidando com “a mudança no tempo, da distância percorrida a cada unidade de tempo...”. Força, f , seria (aproximadamente) o produto de massa por aceleração ($f = Ma$, ou $f = ML/T^2$) e assim por diante.

Dificuldade de definição; relógios e seus mecanismos

Não é evidente se essa visão do tempo, como uma das dimensões fundamentais, mais explique ou mais contribua para a grande dificuldade que temos em definir o que seja “tempo”. Por se tratar de algo fundamental, poderíamos pensar que não haveria modo mais básico em termos do qual definir o tempo, e isso explicaria nossa dificuldade em achar uma definição clara e universal, tendo que aceitá-lo como algo autoexplicativo e evidente. Por outro lado, se tivesse que servir como fundamento, “tempo” deveria ser algo que dominamos bem, e que podemos usar e tratar com facilidade e segurança. Deveríamos, portanto, conseguir defini-lo claramente. É famosa e muitas vezes mencionada a frase de Santo Agostinho “Sei perfeitamente o que é tempo, até alguém me perguntar”. Como em muitas outras ocasiões, nesse nível de discussão a física propõe uma definição muito prática, que foca alguns aspectos básicos do tempo e que permite progredir, apesar de sua aparente simplicidade.

Para o físico, tempo seria simplesmente aquilo que medimos com relógios.

Uma grande vantagem dessa abordagem é que coloca a ênfase na medida, mais do que na natureza do tempo, e isso nos permite

trabalhar de forma coerente e quantitativa com um grande número de questões ligadas ao tempo. Uma consequência disso é que, quando voltarmos às questões filosóficas sobre a natureza do tempo, estaremos munidos de resultados que nos permitirão raciocinar com maior segurança e competência. A definição do físico desloca nossa atenção para os objetos que chamamos relógios, e focaliza a questão básica dos mecanismos pelos quais funcionam. Isso amarra o tempo a processos físicos e, dessa forma, a outras dimensões do mundo.

Relógio de sol: oscilações

Entre os primeiros relógios, se não o primeiro, está o Sol: nada de mais evidente que o recorrente e (aparentemente) regular nascer, subir, descer e pôr do sol a cada dia. Há uma ótima discussão de relógios de sol na Wikipedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/sundial>). O que torna o Sol um relógio é a regularidade de seu movimento no céu. Outros astros, como a Lua e as estrelas fixas, também apresentam movimentos regulares, que podem ser usados para medir o tempo. Foi a preocupação com os fundamentos de tal regularidade que levou à revolução copernicana, que esclareceu o fato de ser a Terra que se move, e não os astros. É a rotação da Terra que cria a impressão do movimento do Sol e das estrelas no céu a cada dia. A clara sensação de que a Terra é fixa e os astros revolvem ao redor dela é ilusória. A regularidade dos movimentos dos astros, portanto, está ligada à rotação da Terra, sendo tal rotação uniforme e constante pelo princípio da inércia, ou de conservação do momento angular.

A equação do tempo

Aprofundando-se um pouco mais, porém, alguns pormenores dos movimentos da Terra tornam a situação mais complicada. O movimento diário do Sol não é

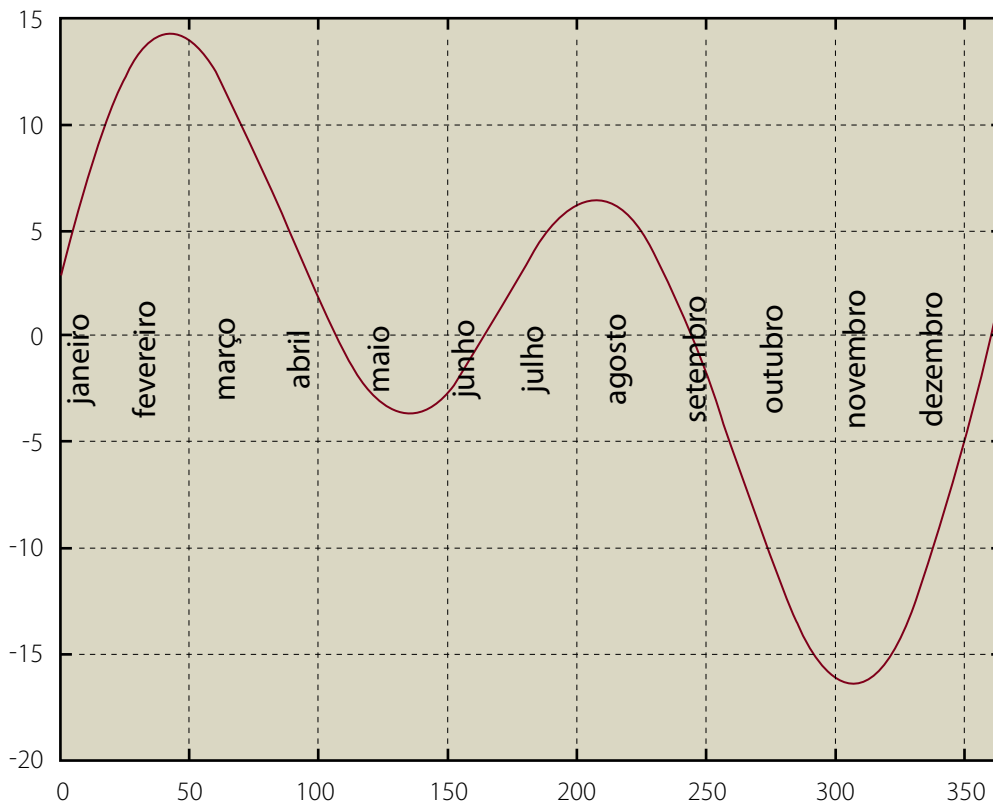
totalmente regular. Isso porque a órbita da Terra ao redor do Sol não é perfeitamente circular, e o eixo de rotação da Terra não é perpendicular à órbita. Isso faz com que a duração do dia baseado no movimento do Sol (o dia solar) oscile ao longo do ano como descrito quantitativamente pela equação do tempo.

Na Figura 1, temos a representação gráfica da equação do tempo, que mostra como a passagem do Sol pelo meridiano se adianta e se atrasa até aproximadamente 15 minutos em relação à média (ou em relação a um relógio preciso) ao longo do ano. A passagem pelo meridiano corresponde ao momento em que o Sol está mais alto acima do horizonte a cada dia, indicando o meio-dia segundo o relógio solar.

Essas oscilações na velocidade de deslocamento do Sol são bem evidentes em uma imagem muito interessante obtida por Dennis

di Cicco, que, entre 1978 e 1979, fotografou o Sol 44 vezes ao longo de um ano inteiro, uma vez a cada sete ou oito dias. Ele fez isso com uma câmera mantida fixa, sem avançar o filme (ou seja, em exposição múltipla), e sempre exatamente na mesma hora do dia (garantida por relógio de precisão). A foto obtida (Figura 2a) foi publicada na edição de junho de 1979 de *Sky & Telescope*. É uma das mais belas e famosas fotos de um fenômeno astronômico. Nela, temos uma imagem da equação do tempo, mostrando uma forma em oito, chamada “analema”: múltiplas exposições do Sol, sempre na mesma hora (8h30), uma vez a cada oito dias, aproximadamente, por um ano inteiro. Em três dias do ano, o obturador foi deixado aberto, com filtro solar muito denso, para registrar o movimento do Sol desde o nascer até alguns minutos antes das 8h30. Se a órbita da Terra fosse circular, e o eixo de rotação, perpendicular ao plano

FIGURA 1



Fonte: <http://pass.maths.org.uk/issue11/features/sundials/eqtime.gif>

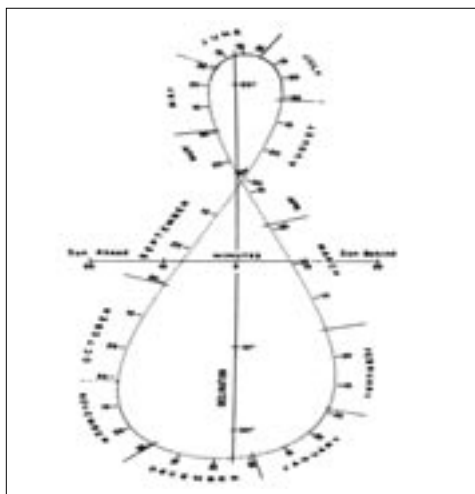
da órbita, o movimento aparente do Sol seria regular, não haveria estações no ano, e as imagens do Sol se sobreporiam em um único ponto. A figura em forma de oito resulta de dois fatos: 1) o eixo de rotação da Terra não é perpendicular à órbita (o que gera a mudança das estações ao longo do ano), mudando o ponto único para uma linha que corresponde ao eixo longo da figura em forma de oito; e 2) a órbita da Terra é elíptica, o que abre os dois olhos da figura em forma de oito em direção perpendicular ao eixo longo. A Figura 2b é um gráfico que mostra o analema, com datas e outros detalhes: pode-se ver que o Sol, entre 10 e 15 de fevereiro, está atrasado, e no começo de novembro, adiantado,

FIGURA 2a



Fonte: <http://www.sundials.org/links/local/pages/dicicco.htm>

FIGURA 2b



Fonte: http://www.mysundial.ca/tsp/images/eot_curve.gif

aproximadamente 15 minutos em ambas as circunstâncias (comparando com um relógio de precisão, ou com o movimento médio aparente diário no céu).

O pêndulo: *invariância* contra mudanças da amplitude de oscilação

Mais conveniente, sobretudo para medir tempos mais curtos, é um relógio baseado no princípio do pêndulo. Entendemos seu funcionamento como decorrente de oscilações cuja duração, em primeira aproximação, não depende da amplitude. Ou seja, há algo *invariante* na oscilação: o período de oscilação permanece igual, mesmo que o pêndulo seja posto a oscilar com menor ou maior vigor, e que, portanto, as oscilações cubram ângulos menores ou maiores (dentro de certa aproximação). Tendo base teórica e comprovação experimental de tal propriedade notável de invariância do pêndulo, medir a passagem do tempo se reduz à operação de *contar*. Para saber o tempo decorrido entre dois eventos, por exemplo, entre colocar o ovo na água fervendo, e ele estar com a clara cozida, mas a gema ainda líquida, basta contar o número de vezes que o pêndulo oscilou até dar cinco minutos e meio. Para um dado número de oscilações o intervalo de tempo assim marcado será sempre o mesmo, pois as oscilações são regulares, sempre iguais, *invariantes*. É importante apreciar o fato de que esse intervalo “é sempre o mesmo”: àquele número de oscilações do pêndulo, sempre corresponde um mesmo intervalo de tempo, que sempre mede aquele mesmo fenômeno físico, de cozinhar o ovo. Esse princípio de constância do tempo que algum processo demora aplica-se, em geral, a todos os fenômenos da natureza. É a permanência desses intervalos que dá ao tempo sua legitimidade como medida física e como fator intrínseco dos mecanismos subjacentes aos fenômenos naturais.

Relógios mais modernos se baseiam na frequência de ondas eletromagnéticas emitidas por transições eletrônicas entre estados energéticos de alguns átomos (césio, estrôncio), mecanismos muito mais sofisticados que pêndulos, mas que não deixam de possuir a mesma propriedade fundamental de *invariância*. Esses relógios, ditos atômicos, atingem uma precisão extraordinária, melhor que uma parte em 10^{17} , ou seja, não atrasariam nem adiantariam um segundo em duzentos milhões de anos.

Tempo e contagem *ordenam*

Contar as oscilações de um pêndulo, ou os ciclos das oscilações da onda eletromagnética emitida por algum átomo, implica, de alguma forma, *ordenar*: 1, 2, 3... Contar tem implicação de sequência crescente, de acúmulo. E assim o tempo parece também ordenar os eventos no mundo, de uma forma inelutável, absoluta. Há, nos fatos da história, uma sequência cronológica; nos eventos físicos do mundo a causa precede o efeito, e assim por diante...

A revolução relativística

Pela imprensa de divulgação e outros meios, sabemos, porém, que essa visão familiar e ordenada do tempo foi posta de pernas para o ar pela teoria da relatividade. As noções coerentes com nossa experiência diária convivem com noções bem contraditórias, ligadas à famosa teoria de Einstein, que passou por todas as verificações experimentais disponíveis até o momento (foram muitas, e extremamente variadas). Um resultado intrigante da teoria da relatividade é que não há um “tempo absoluto”, e que espaço e tempo são indissociáveis, formando um “contínuo espaço-temporal”. Sabemos isso, mesmo que não seja tão fácil visualizar o que significa. Básica na relatividade é a noção de que a medida física de tempo, com qualquer instrumento (e de

distâncias e até da massa dos objetos), depende do observador ou, melhor, do estado de movimento do observador (relatividade restrita), ou do campo gravitacional (relatividade geral) em que o observador se encontra. Sabemos, assim, que o tempo não transcorre uniformemente em toda parte do universo, ou seja, o universo não existe numa dimensão de tempo anterior, subjacente. Assim, é impossível determinar se dois eventos são “simultâneos” ou não. Exemplo comprovado experimentalmente e importante no funcionamento do GPS é o fato de que na presença de um dado campo gravitacional, aqui na superfície da Terra, por exemplo, um relógio “anda mais devagar” do que na presença de um campo gravitacional menor, em satélite artificial, apenas cem quilômetros acima da superfície da Terra. Como determinar a simultaneidade se os relógios, ou melhor, o “fluir” do próprio tempo aqui e lá, são diferentes?

No lugar de um tempo absoluto, a base da relatividade é que a *invariância* mais fundamental está na velocidade com a qual a luz se propaga, independentemente da velocidade do observador que mede tal velocidade. Dessa maneira, não seria o tempo, com seu “fluir”, e sim o movimento da luz; o fenômeno mais fundamental, a referência para todo o resto.

NA VIDA

Tempo e movimento

A impressão que temos é de que, se o tempo “parasse”, nada no mundo mudaria mais, nem poderia mudar nunca. Seria o fato de o tempo “fluir” que viabilizaria mudanças, das quais os movimentos – mudanças da localização de um objeto no espaço – são um dos exemplos mais óbvios? A ligação entre movimento e tempo é tão íntima que, na linguagem comum, o tempo “passa” *rápido* ou *devagar*, adjetivos que se referem, na realidade, a movimentos. Mas, segundo o que foi discutido até aqui,

entre o tempo e o movimento, este último parece, na física, ser o mais fundamental, pois a propriedade de invariância se aplica na medida da velocidade da luz, mas não na medida do tempo. Isso nos leva à ideia, já proposta por vários filósofos, de que nossa percepção do escorrer do tempo seja, no fundo, uma ilusão. Além das linhas de Ronsard, que abrem este ensaio, são interessantíssimas, novamente, as reflexões de Santo Agostinho, filósofo do quarto século da era cristã. Ele propõe que o tempo não seja algo objetivo que pertença, ou que faça, de fato, parte do mundo. Existiria apenas subjetivamente, como produto de nossa própria mente, como parte de nossa estratégia de compreensão e codificação do mundo. Para entender esse conceito, talvez seja útil pensar na cor vermelha, por exemplo, como algo que também não existe no mundo, mas que nosso sistema nervoso cria. No mundo não há “vermelho”, há apenas objetos com propriedades particulares de interação com a luz, e aqueles que espalham ou refletem certos comprimentos de onda, *percebemos* como “vermelhos”. Mas, “lá fora”, no mundo, não há vermelho, nem azul, há apenas certos comprimentos de ondas eletromagnéticas, ficando por conta do nosso sistema visual gerar a percepção de cor, uma experiência interna, íntima e subjetiva.

Um aspecto determinante na compreensão do *tempo subjetivo* é a atenção. Diferentes níveis de atenção podem provocar experiências temporais radicalmente diferentes. Alocar menos atenção para eventos temporais provoca a percepção de que “o tempo voa”, isto é, observa-se redução na duração percebida dos eventos no tempo. Ao contrário, prestar atenção à passagem do tempo provoca a sensação de que o tempo passa significativamente mais devagar: esperar a água ferver, plantado na frente da panela, olhando para ela, demora uma eternidade; ao contrário, distraído com um telefonema, a água já se foi pela metade em um intervalo de tempo que julgaríamos mais curto.

Em tarefas de sincronização de movimentos a estímulos sensoriais externos, a

precisão do desempenho humano depende da modalidade sensorial do estímulo. Acompanhando estímulos auditivos somos mais precisos e menos variáveis do que acompanhando estímulos visuais. Essa é mais uma indicação de que o tempo é algo gerado internamente, variável, dependente não só do estado psicológico, mas até da natureza de estímulos ambientais. De fato, há forte evidência experimental de que estímulos visuais são percebidos como mais curtos do que estímulos auditivos da mesma duração objetiva, medida com relógio confiável.

Tempo e consciência

Nossa consciência, nossa sensação de unicidade e de continuidade como indivíduos, depende de memória, e, nesse sentido, de um registro temporal, ou da nossa percepção de tempo. Continuamos sendo a mesma pessoa, apesar de ter havido época em que pesávamos apenas três quilos e meio, e época em que não sabíamos ainda falar inglês, enquanto agora nosso peso é mais de vinte vezes maior, e usamos o inglês todo dia. Há muitas outras diferenças, a começar pelo fato de que muitos, se não todos, os átomos que nos compõem hoje são diferentes dos que nos compunham em épocas passadas. Mesmo assim, nosso nome permanece o mesmo, e nos consideramos a mesma pessoa. Agregando às considerações sobre o tempo a noção de consciência, uma especulação instigante é que “consciência” seja a aplicação ao momento presente dos mecanismos de resgate de memórias do passado: estar consciente seria “lembrar do presente”, um jogo no tempo...

A escala logarítmica do tempo

Uma digressão interessante considerando a percepção de tempo diz respeito à medida de nossa idade, que se faz invariavelmente em termos de um certo número de anos, meses, dias. Acontece, porém, que a

sensação que acompanhava a passagem de um ano quando éramos crianças de longe não é a mesma agora, que somos adultos. A década dos 10 aos 20 anos demorou muito mais a passar do que a década dos 30 aos 40, ou, pior, dos 50 aos 60. Se pensarmos na nossa infância, parece que um tempo enorme se passou desde então, que aquilo tudo se refere a um horizonte evanescente, quase infinitamente recuado no tempo.

Há uma teoria pela qual nossa percepção de tempo seria logarítmica: a passagem de 1 ano aos 10 de idade corresponderia à passagem de 2 aos 20 ou 5 aos 50: passos iguais com mudanças de igual porcentagem no número de anos, e não somando um número igual de anos... De alguma maneira essa ideia é coerente com a lei de Weber-Fechner pela qual todas as nossas entradas sensoriais respondem de forma logarítmica a estímulos ambientais. Percebemos um dado aumento num som, ou na intensidade de uma luz não pelo acréscimo de uma dada quantidade de estímulo, e sim pelo acréscimo de um dado percentual do estímulo em questão. Portanto, querendo aumentar a iluminação da nossa sala, podemos aumentar o número de lâmpadas de uma para duas. Se acharmos que precisamos aumentar a iluminação mais uma vez, na mesma quantidade, uma terceira lâmpada não resolverá o caso. Indo de uma para duas, dobramos a quantidade de luz. Querendo repetir a dose, a adição de mais uma lâmpada não resolve. Para termos, perceptualmente, o mesmo aumento na iluminação precisamos novamente dobrar, e, portanto, adicionar *duas* novas lâmpadas, e não apenas uma. E se isso ainda não for o suficiente, para dar mais um passo, que seja, do ponto de vista perceptual, igual, devemos agora adicionar quatro lâmpadas, e passar para oito.

Há outros fatores, menos precisos em termos quantitativos e fisiológicos, mas possivelmente até mais importantes, psicologicamente, na aceleração da passagem do tempo ao longo da vida. Quando jovens, nosso anseio é o futuro, queremos que chegue logo, não vemos a hora de conquistar o diploma, de realizar tal ou tal outro projeto, adquirir nossa independência financeira.

Mais velhos, o futuro tem outra perspectiva, nem tão animadora, a não ser, talvez, pelas perspectivas oferecidas por praticamente todas as religiões: uma nova vida, muito melhor (a começar pelo fato de ser eterna, portanto “fora do tempo!”), ou, pelo menos, uma nova encarnação... A angústia da morte parece estar ligada ao fim do tempo subjetivo, o fim da nossa participação nos eventos do mundo. Curiosa a extrema assimetria de tal angústia. Por que não temos aquela mesma vertigem em relação à nossa não-participação nos eventos do mundo anteriores ao nosso nascimento? Parece que isso tem a ver com a flecha do tempo, ou seja, com o fato de o depois ser, em nossa percepção (ilusória), fundamentalmente diferente do antes.

NO LABORATÓRIO

Atenção, ação e tempo

Muitos outros autores poderiam ter escrito com mais eloquência e autoridade o que até aqui foi dito. No espaço que nos resta queremos abordar preocupações que nos interessam em nosso trabalho de pesquisa, no laboratório. O tema de base é o foco da nossa atenção no tempo: nos interessa medir e entender a precisão das nossas percepções e de nossas ações nos mais curtos intervalos de tempo. Essa pesquisa tem as mais variadas aplicações, na atividade esportiva, por exemplo, ou no entendimento dos magníficos efeitos da música sobre nosso sistema nervoso.

Tempo e visão

Começamos nossa discussão com uma primeira constatação, relativa à nossa visão. Continuamente fixamos pontos salientes do ambiente por períodos variáveis, relativamente longos, mudando muito rapidamente

de um ponto de fixação para outro. Esses movimentos rápidos dos olhos são chamados sacadas. Interessante que, apesar de haver luz que chega às nossas retinas, durante uma sacada ficamos temporariamente cegos. É fácil entender como tal processo, conhecido como supressão sacádica, evoluiu. Durante uma sacada, a imagem na retina não é estável, e, portanto, é impossível para o sistema nervoso construir uma imagem clara do que está na nossa frente. Nada mais razoável, portanto, do que suspender, pela duração da sacada (algumas dezenas de milissegundos), todo o processo nervoso que, a partir da luz que chega à retina, gera percepção visual, poupando recursos computacionais e mantendo ordem nas entradas visuais. É fácil verificar a existência da supressão sacádica, simplesmente mudando o ponto de fixação e prestando atenção ao que vemos. Temos uma imagem clara do ponto de fixação antes da sacada, e, depois dela, temos outra imagem, igualmente clara, do novo ponto de fixação, sem praticamente nada no meio. Ligado à supressão perceptual, há, portanto, o desaparecimento de um intervalo de tempo, ou seja, do tempo que a sacada durou. Esse é um fenômeno interessantíssimo, algo provavelmente tão curioso na neurofisiologia quanto são os efeitos relativísticos nos fenômenos físicos. Se ficamos cegos durante a sacada, por que não percebemos nossa cegueira durante esse tempo? Será que a sacada é tão rápida que nem nos damos conta, de tão curta a duração dessa experiência? Essa não parece ser uma explicação razoável, pois, ao contrário, um piscar de luz muito curto, qualquer valor abaixo de 100 ms, é, ao contrário, percebido como mais longo (aproximadamente, no mínimo, da ordem de 100 ms).

A explicação vigente da nossa inconsciência da supressão sacádica está intimamente relacionada à percepção de tempo. Se, a partir de um ponto de fixação distante, olharmos de repente para um relógio, ele aparentará estar, temporariamente, parado. Demora um pouco antes de a agulha dos segundos passar à posição sucessiva. Tudo indica que esse fenômeno, conhecido como cronostasia, é devido ao fato de a sacada até

o relógio causar uma ilusão temporal, que está presente em todas as sacadas. Provavelmente o cérebro rotula o momento em que começamos a perceber o relógio com a hora em que foi *iniciada* a sacada, e não com a hora em que *terminou* a sacada (e iniciou-se a fixação do relógio)! Ou seja, enxergamos o relógio *antes* de olhar para ele! Nosso cérebro “volta no tempo”. Esse preenchimento do tempo em que os olhos estão em movimento com a imagem do objeto fixado *no fim da sacada* evita que se perceba a cegueira temporária associada à sacada. O mesmo aconteceria, e seria muito menos surpreendente, se o cérebro mantivesse viva a imagem da fixação *anterior* à sacada pelo tempo que demora movimentar os olhos até o novo ponto de fixação. Qual a pressão seletiva que favoreceu esse “voltar no tempo”, no lugar de manter a imagem anterior congelada por um tempo, não se sabe. Mas, ao olhar para o relógio, temos universalmente a ilusão de que ele está parado: na percepção da imagem do relógio, além do intervalo “objetivo” que a agulha demora para sair do lugar, há que adicionar o tempo que demorou a sacada até lá. Convicente evidência dessa interpretação da cronostasia é que o efeito do relógio parado é tanto maior quanto mais longe estiver o relógio do ponto de fixação inicial, ou seja, quanto mais demorada a sacada.

Tempo e esporte

O fato de sacadas causarem distorções no fluir de nosso tempo interior, com a possibilidade até de voltar atrás no passado de algumas dezenas de milissegundos, introduz considerações importantes no estudo do controle motor, com consequências para a atividade esportiva. Considere-se, por exemplo, a situação de um goleiro na hora de um pênalti. Se, com a intenção de avaliar a direção em que irá a bola, o goleiro observar o cobrador e executar uma sacada para olhar para a bola apenas na hora do chute, sua percepção da bola será alterada por algumas dezenas de milissegundos. Isso

pode ser fatal em seu esforço de interceptá-la. A recomendação, portanto, seria para o goleiro focar a bola com certa antecedência, de forma a deixar que os efeitos da cronostasia já tenham sido superados na hora mais importante e que a percepção de posição e movimento da bola seja o mais acurada possível. Estamos falando de tempos curtíssimos, de apenas dezenas de milissegundos, mas esses tempos são o suficiente para fazer a diferença entre o sucesso e o fracasso, não apenas na hora do pênalti, mas em muitas outras situações na atividade esportiva.

Tempo e música

Além do esporte, há muitas outras atividades humanas em que o tempo tem papel de destaque. Isso é inevitável toda vez que o movimento, ou qualquer tipo de mudança, seja importante. Entre as artes, a música é a que mais está vinculada à mudança e, portanto, ao tempo. A expressão musical, o tocar de uma peça, ocorre no tempo, como acontece também com o cinema e com o teatro, que também têm dinâmica e duração temporal em sua expressão, ao contrário da pintura ou da escultura. Mas, na música, o tempo tem papel muito mais predominan-

te, pois o ritmo, que é uma forte marcação temporal, é a base ancestral da música. Uma descrição bem-humorada disso foi dada pelo cartunista Larry Gonick ao descrever muito bem a ideia de que bater pedras em sincronia, talvez na fabricação das primeiras ferramentas, tenha sido instintivamente agradável como atividade social e que isso possa ter dado origem à preocupação com ritmo, a base de toda expressão musical (Figura 3).

É sobre essa base rítmica que se enxertam, em desenvolvimentos posteriores, melodia e harmonia. De todas as atividades humanas, talvez seja na música que nossa experiência de tempo seja a mais íntima, a mais pura, a mais direta. Não é por acaso que ouvir música nos induz ao movimento, à dança.

Em contexto musical, o limiar de detectabilidade do intervalo entre dois estímulos sonoros é, novamente, de aproximadamente 100 milissegundos. Portanto, se dois eventos sonoros forem apresentados em intervalos menores do que 100 milissegundos, ocorre um fenômeno de somação temporal. Por outro lado, se o intervalo entre esses eventos for maior do que 1,8 segundo, o sistema nervoso parece ter dificuldade em definir uma ordem contínua ou sequencial desses eventos, que serão interpretados como dois eventos sem relação entre si. A

FIGURA 3



Reprodução

periodicidade de várias atividades naturais, como caminhar, falar, bater palmas, apresenta um *tempo espontâneo*, ou seja, um pulso periódico básico. Apesar de diferenças individuais, os intervalos observados se situam entre 380 e 880 milissegundos, sendo que 600 milissegundos é o valor mais representativo.

Na música, fortes expectativas são geradas pela regularidade do pulso. Os pulsos musicais são batidas isocrônicas que marcam pontos no tempo musical, ou seja, são a unidade de tempo básica da peça musical. Ondas cerebrais *gamma* (20-60 Hz) observadas no córtex auditivo são importantes para a percepção do pulso e da métrica da música, pois estão relacionadas com a geração de expectativas e antecipação da ocorrência de eventos sonoros regulares.

A sensação de regularidade na música também está relacionada com a percepção de pulsos fortes em contraposição a pulsos fracos. A ideia de acentuação nos direciona à introdução de outro aspecto temporal importante na música, o de estrutura métrica ou, simplesmente, métrica. A métrica permite a segmentação dos pulsos em grupos. É o que permite caracterizar uma música em binária (bossa-nova, samba), ternária (valsa), quaternária e estruturas compostas. A métrica é um dos componentes mais significativos na experiência rítmica porque cria estrutura nas expectativas temporais. Sons isocrônicos idênticos são agrupados

subjetivamente em grupos de dois e quatro elementos e, com menor frequência, de três elementos. Pistas *não-temporais*, como altura (melodia) e intensidade (dinâmica), também são importantes para a construção dos agrupamentos rítmicos, pois contribuem para a acentuação dos pulsos fortes, que marcam o início dos grupos de segmentação do tempo.

É possível notar que uma das reações mais naturais à música é bater palmas, bater o pé, ou estralar os dedos em sincronia com o pulso da música. Não é preciso ser músico treinado para perceber o pulso, a “batida”, de uma música. Seres humanos possuem uma capacidade inata de sincronizar a batida do dedo com estímulos temporais externos. Não-músicos podem realizar tarefas de sincronização a estímulos regulares com um desvio-padrão de $\pm 4\%$, enquanto músicos treinados apresentam um desvio-padrão de até $\pm 2\%$. Esse valor é ainda menor quando se trata de percussionistas, que conseguem sincronizar suas batidas com um desvio-padrão de apenas 0,5%.

Outro aspecto importante na percepção de tempo é a capacidade de detectar variações nas durações de eventos. Estima-se que seres humanos são muito sensíveis a pequenas diferenças no tempo. O JND (*just noticeable difference*) para discriminação de tempo parece ser de 5-8% para ouvintes não-músicos. Essa habilidade é particularmente importante tendo em vista

FIGURA 4a

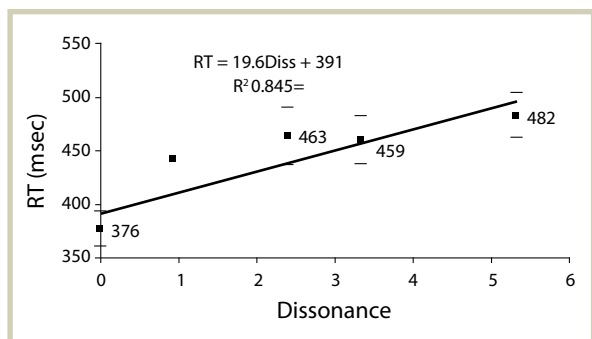
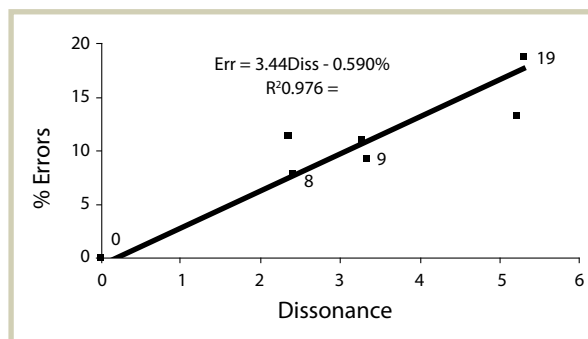


FIGURA 4b



Fonte: R. Ranvaud; W. F. Thompson; L. Silveira-Moryama; L-L. Balkwill, “The Speed of Pitch Resolution in a Musical Context”, in *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 109(6), 2001, pp. 3.021-30.

que o tempo na música não é uma estrutura rígida, muito pelo contrário, a beleza da arte de fazer música está justamente na capacidade de “brincar” com o tempo. O tempo na execução ou *performance* musical é maleável, elástico, sujeito a interpretações e flutuações que permitem a declamação do discurso musical de forma íntima e pessoal, conforme a inspiração do artista. Por que essas variações na velocidade com que a peça é tocada são tão importantes, constituindo, junto com a dinâmica (alterações na intensidade do som produzido), a base interpretativa da música? Acreditamos que seja devido ao fato de a música criar expectativas, que ora são confirmadas (momento de relaxamento), ora negadas (momento de tensão). Para seguir a peça, é necessário que nossa atenção siga a sua trajetória rítmica e melódica, e em momentos de relaxamento isso requer menor esforço atencional, podendo a peça andar mais rapidamente. Em momentos de tensão, por outro lado, a atenção deve percorrer distâncias maiores, o que leva à necessidade de tempos mais longos para acompanhar a peça, e, portanto, uma interpretação em que haja uma desaceleração do trecho em questão será mais compreensível, mais apreciada. Alguns dados quantitativos podem reformar essa ideia. Na Figura 4a, por exemplo, em função da dissonância entre a nota esperada e a nota de fato tocada, pode-se ver que o tempo de reação na discriminação da nota aumenta linearmente. O que interessa nesse gráfico é que há uma clara diferença (30%) no tempo necessário para perceber a nota esperada, para a qual a atenção está voltada, e uma outra nota qualquer.

Já na Figura 4b não apenas o tempo de reação aumenta, mas a probabilidade de errar na identificação da nota aumenta também, de forma bem semelhante. Esse resultado fortalece a ideia de que é a dificuldade da tarefa, em termos do esforço atencional necessário, que aumenta conforme

aumenta a distância entre a nota esperada e a nota tocada.

A expressão musical também está intimamente ligada à fala. Assim como a fala, a música é uma atividade que requer coordenação temporal entre as ações (notas ou grupo de notas, fonemas ou palavras) que se sucedem. Tendo em vista que a música é uma forma de comunicação tal qual a fala, em que a atenção é um elemento essencial para a compreensão, as expectativas criadas têm um papel fundamental. Na fala, palavra puxa palavra, na música, nota puxa nota. Interessante que indivíduos sem qualquer instrução musical possuam habilidades para compreender a “sintaxe musical”. Isso sugere que a musicalidade seja uma habilidade inata do cérebro humano.

DUAS CURIOSIDADES

Para finalizarmos, gostaríamos de mencionar apenas duas entre muitas iniciativas atuais contra a angústia do tempo discutida acima. Tal angústia é cada dia mais exacerbada pela maior eficiência nas comunicações, ou seja, pela imensa facilidade de acesso às informações, que tem acelerado o passo de nossas vidas, muitas vezes a níveis perturbadores.

Em oposição a essa tendência à aceleração, um grupo de pessoas focou o fenômeno chamado *fast food*, que, no lugar de ser um expediente excepcional, apenas para situações particulares, vem se tornando uma rotina – absurda – para muitas pessoas. Para quem tiver interesse em saber mais, e talvez participar da iniciativa, há informações no site <http://www.slowfood.com>. A segunda iniciativa nessa direção é a da Fundação do Longo Agora (em tradução literal de The Long Now Foundation), cujas ideias e atividades são descritas em: http://en.wikipedia.org/wiki/Long_Now_Foundation.