



EXPERIÊNCIA

O CIENTISTA FILOSÓFO

Grandes nomes da Física combinavam conhecimento científico com o questionamento filosófico para desenvolver tecnologias utilizadas até hoje

ABLE STOCK





POR SILVIO RENATO DAHMEN

Em 1942, na cidadezinha costeira de Blue Hill, no estado americano do Maine, a figura solitária de um homem andando pela praia durante a noite, perdido em divagações, deixou em alerta os habitantes daquele pacato refúgio. Seu forte sotaque alemão não representava um problema em uma nação de imigrantes como os EUA, mas com o país em guerra contra as forças do Eixo e a costa americana patrulhada por submarinos alemães à espera de uma presa, seus passeios levantavam no mínimo certa suspeita. Seria aquele homem franzino um militar alemão tentando enviar aos famigerados *U-Boote* informações acerca do movimento de navios americanos?

A figura solitária estava longe de ser um espião atrás de segredos aliados. As tão necessárias caminhadas eram para Kurt Gödel, o famoso matemático austríaco, momentos preciosos em que, sozinho com seus pensamentos, ele podia perscrutar ain-

da mais profundamente os segredos da natureza. Quem via seu semblante frágil mal poderia imaginar que aquele era justamente o homem que há anos provocara a maior revolução na Lógica desde os antigos gregos: com apenas 25 anos de idade, provou um teorema cujas conseqüências são tão profundas para o edifício da Matemática para a computação e para nossas próprias limitações cognitivas como seres humanos, que ainda hoje é motivo de debate entre filósofos matemáticos e físicos (*veja quadro O Teorema da Incompleteza*).

Este trabalho, com o qual Gödel escreveu seu nome nos anais da Matemática, não impediu, porém, que, com a anexação da Áustria pela Alemanha em 1938 e o início da Segunda Guerra Mundial um ano depois, ele tivesse que fugir de seu país, buscando refúgio nos EUA. Ao chegar ali, depois de uma aventurosa travessia pela Sibéria e pelo Oceano Pacífico, Gödel se fixou em Princeton, tornando-se membro

Silvio Renato Dahmen

é professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutor em Física Teórica e Matemática Aplicada pela Universidade de Bonn (Alemanha) e pós-doutorado pela Universidade de Yale (EUA) é atualmente professor visitante da Universidade de Würzburg (Alemanha) pela Fundação Alexander von Humboldt.





EXPERIÊNCIA

Para Gödel não bastava entender apenas os "porquês" da natureza, era preciso questionar também o "como" e o "para onde"

do prestigioso Instituto de Estudos Avançados. Não obstante sua maneira um tanto refratária no trato com outras pessoas, lá ele encontrou num já idoso professor, um amigo e companheiro intelectual. Este amigo, um gigante da ciência do século XX, fazia questão de acompanhá-lo em suas longas caminhadas diárias e assim expor suas idéias acerca da origem e estrutura do universo. Mas o que teria atraído Albert Einstein, então já reverenciado por todos como "o físico" do século, para a figura do introvertido e genial Gödel? Se fosse apenas devido ao conhecimento de Física, que houvera estudado paralelamente ao seu curso de Matemática em Viena, Einstein poderia ter escolhido entre um grande número de físicos de primeira linha – e isso era o que não faltava em Princeton ou em outros grandes centros americanos. Ninguém abdicaria da oportunidade de compartilhar algumas idéias com o grande Einstein.

Entretanto, entre tantas pessoas, só uma delas combinava o trabalho de cientista com o questionamento filosófico: Gödel. Não bastava entender apenas os "porquês" da natureza, mas também o "como" e o "para onde". Gödel compartilhava com Einstein uma grande paixão pela Filosofia e sabia de sua importância para o desenvolvimento da ciência.

Ambos eram não apenas conhecedores profundos de grandes obras do pensamento humano, em particular da *Crítica da Razão Pura* de Immanuel Kant, que haviam lido aos 16 anos de idade, mas também seguidores de uma tradição que houvera se iniciado séculos antes e encontrara em

Gottfried Wilhelm Leibniz talvez seu maior expoente: o cientista-filósofo. Grande ídolo de Gödel, Leibniz é considerado o único gênio universal depois de Leonardo da Vinci e também o último. Segundo o físico Carl Friedrich von Weizsäcker, nenhum cientista antes ou depois dele conseguiu com poderoso intelecto unificar de forma tão profunda a Matemática e a Filosofia. Entre tantas outras contribuições ao Direito, à Física, à Filosofia, à Lingüística e à Matemática, Leibniz também inventou o sistema binário, a linguagem natural sobre a qual se baseia todo computador moderno. Isso mostra que, ao contrário do que acredita o senso comum, os trabalhos de Einstein, Gödel ou Leibniz estão muito próximos de nossa realidade cotidiana. Ao ligar um computador e navegar pela Internet ou ao escutar um belo CD em casa, utilizamos tecnologias vindas do trabalho destes três nomes. Foram eles, com suas indagações filosóficas, que possibilitaram não apenas o desenvolvimento destas tecnologias como também nos mostraram suas limitações.

Leibniz nasceu em Leipzig, cidade da Saxônia onde, ainda hoje, é reverenciado como seu filho mais ilustre. Esse mérito é ainda mais impressionante se nos lembrarmos que, embora não nascido naquela cidade, o compositor Johann Sebastian Bach está eternamente ligado a ela, pois foi ali que passou quase metade de sua vida. Leibniz, um gênio precoce que ainda criança aprendeu sozinho o latim e aos 16 anos, na universidade local para estudos de Direito e Filosofia, transferindo-se posteriormente para a Universidade de Jena, onde estudou Física, Matemática e Astronomia. Durante suas longas viagens a serviço diplomático da casa real de Hannover, não perdeu



ENCYCLOPEDIA.BR.NAZ.CZ





A SISTEMATIZAÇÃO DA LÓGICA FORMAL

Para entender como o trabalho de Gödel associa aquilo que entendemos por Lógica com a Matemática, é necessário fazer um pequeno passeio pela História. Em 1847, o matemático inglês George Boole publicou um importante trabalho intitulado *A Análise Matemática da Lógica*. A idéia de Boole era criar os aparatos necessários – uma álgebra da lógica – com os

quais pudesse de maneira precisa tratar de problemas lógicos que exigissem um tipo de dedução diferente dos tradicionais. Podemos falar assim de uma “matematização da lógica” e entender num exemplo simples como isso funciona.

Tomemos a frase “as baleias são peixes”. Falso ou verdadeiro? Para provar a veracidade ou falsidade desta afirmação poderemos

proceder seguindo três passos: Todas as baleias são mamíferos. Nenhum peixe é mamífero. Logo, nenhuma baleia é peixe. Usamos aí duas verdades (axiomas) e a partir delas deduzimos que a frase “as baleias são peixes” é uma afirmação falsa. Em linguagem matemática podemos escrever estas mesmas sentenças na seguinte forma

$$\begin{aligned} B &\subset M \\ P &\subset \sim M \\ \therefore B &\subset \sim P \end{aligned}$$

O símbolo \subset é a notação matemática para “está contido em”; \sim significa “portanto”, e o til significa “não”. Logo a primeira linha nos diz que a classe B (baleia) pertence à classe M (mamífero). A segunda linha diz que a classe P (peixe) pertence à classe do Não-M. Logo, se toda baleia é mamífero e nenhum peixe pode ser mamífero, concluímos que nenhuma baleia é peixe (ou lendo matematicamente a última linha podemos dizer que baleias são não-peixes). É baseado neste tipo de lógica matemática, devidamente generalizada, que Gödel provou o Teorema da Incompleteza.

as oportunidades que se fizeram presentes para conversar e discutir suas idéias com os grandes cientistas e pensadores de sua época. Marcante na postura de Leibniz foi sua crença na unidade indivisível das ciências e dos números, a linguagem de Deus gravada na natureza, uma idéia que se tornou mais forte depois de ter estudado o I-Ching chinês¹.

De seu intenso envolvimento com questões da natureza, das línguas e da política, Leibniz concluiu que o pensamento humano era na realidade um processo algorítmico no cérebro². E, sendo a linguagem nada mais que a manifestação externa dos nossos pensamentos e o motivo de discórdia pelos mal-entendidos que causa, Leibniz concluiu que seria possível acabar com as

brigas entre os homens através do uso de uma linguagem de símbolos que seguisse os preceitos estritos da Lógica. Porém, contrariamente aos idiomas do planeta, com suas diferenciações históricas e geográficas, o idioma simbólico lógico era universal e deveria representar também a unidade maior do Universo: Deus. Para Leibniz fora de

1 - Seu interesse pela língua e pela cultura chinesa faz dele o pioneiro da sinologia entre os grandes intelectuais europeus.

2 - Um algoritmo é o conjunto de regras que usamos ao fazer um cálculo matemático. Um exemplo de algoritmo são as regras ensinadas na escola para multiplicar dois números de qualquer tamanho, por exemplo, 131×247 . Uma característica dos “bons” algoritmos é que são válidos para todos os casos possíveis, como as regras de multiplicação: elas valem não importa quão grandes os números (quando multiplicamos números pequenos, como 2×5 , não fazemos uso de algoritmos mas sim de nossa memória, pois em algum momento decoramos as tabuadas). Programas de computadores são conjuntos de algoritmos.





LIQUID LIBRARY

Deus só havia o nada; portanto, a “língua universal” deveria refletir essa verdade e ser formada apenas dos símbolos 1 (Deus) ou 0 (nada). Nascia aí o sistema binário e, com ele, a chamada arquitetura de todo computador moderno (veja o quadro *O Sistema Binário de Leibniz*).

É interessante notar que Leibniz não estava à procura de uma arquitetura de computador – sua busca pela linguagem universal era fruto de sua postura filosófica otimista, sua *Teodicéia*, que propagava que o mundo onde vivemos é o melhor dos mundos possíveis. Com o lado prático da computação, na maneira como a entendemos hoje, ele se ocupou mais tarde, ao projetar e construir uma das primeiras máquinas de calcular da história (algumas delas, originais ou reproduções, podem ser vistas em museus).

Leibniz foi também o cientista que in-

ventou o chamado Cálculo Infinitesimal, na mesma época que Isaac Newton, mas de maneira independente. Sem esta técnica matemática, todo o desenvolvimento posterior da Física e, portanto, da tecnologia, seria impensável. Embora não possamos colocar Newton na categoria de cientistas-filósofos, sua obra em Mecânica teve importantes conseqüências para a história da Filosofia. De todos os conceitos fundamentais da Física, talvez o tempo seja aquele que mais nos deixa perplexos: afinal, por que existe uma assimetria entre passado e futuro? Somos capazes de nos lembrar do passado, mas não nos “lembramos” do futuro. O passado é imutável, mas o futuro, se não totalmente previsível, ao menos pode ser parcialmente direcionado. O tempo parece ser totalmente diferente do espaço, outro conceito fundamental da Mecânica: podemos andar para frente, para trás,

O TEOREMA DA INCOMPLETEZA

O teorema que Gödel provou, provocando assim uma verdadeira revolução na lógica formal, estava relacionado a uma hipótese do matemático alemão David Hilbert acerca da “completeza” da Matemática. Uma área da Matemática é dita “completa” se para toda proposição feita for possível dizer se ela é verdadeira ou falsa baseando-se apenas em axiomas daquela área.

Um exemplo de proposição: todo número primo, com exceção de 2, é ímpar. A prova é simples: se um número primo fosse par, então ele seria divisível por 2. Sendo divisível por 2, ele não pode ser primo

(números primos só são divisíveis por si mesmo e por 1). Portanto, para ser primo ele tem que ser ímpar. Colocando em uma linguagem simples, o que Gödel mostrou foi que, em qualquer ramo da Matemática, sempre haverá proposições cuja veracidade não poderá ser provada usando apenas regras e axiomas daquele próprio ramo.

É possível provar que uma proposição da Geometria é falsa ou verdadeira com novas regras e axiomas trazidos de fora, quer dizer, emprestadas de outro ramo da Matemática como a Álgebra, por exemplo. O que se consegue neste

caso é apenas criar um novo ramo da Matemática chamado “Geometria Analítica”, na qual ainda haverá proposições cuja veracidade só poderá ser provada recorrendo a regras de um sistema ainda mais amplo – e assim *ad infinitum*.

Se substituirmos a palavra matemática por “Sistema Lógico Formal”, então teremos uma generalização do Teorema de Gödel para outros ramos do conhecimento. Na Ciência da Computação, isto implica que nunca será possível criar um computador que responda corretamente toda e qualquer pergunta que possa surgir. Na Lingüística, estudiosos



para a esquerda ou direita, subir ou descer. Já o fluxo inexorável do tempo, sempre na mesma direção, precisa de uma explicação: Por que sempre envelhecemos e não rejuvenescemos, por que um legume cozido não pode ser “descozido”? A questão da “flecha do tempo”, como costumamos chamá-la em Física, manteve os cientistas intrigados por aproximadamente 200 anos. A dificuldade maior está no fato de não haver, entre as leis fundamentais da Física, uma que diga que um ovo quebrado não possa se “desquebrar” naturalmente.

Como mostrou rigorosamente Ludwig Boltzmann, físico e filósofo austríaco e grande inspirador de Einstein, certas coisas não ocorrem, não por serem impossíveis, mas apenas por serem improváveis – e num grau tão inimaginavelmente improvável que, por exemplo, precisaríamos esperar por um tempo infinitamen-

te maior que a idade de nosso Universo para que víssemos, a nossa frente, um ovo se “desquebrar” espontaneamente.

Mas o que é o tempo? Ele existe independente de o observarmos, ou seria o tempo algo que depende, de alguma maneira, de nós? Ele flui porque nossa consciência, com a qual o percebemos, se modifica? Seria, assim, o fluxo do tempo algo subjetivo? Para Leibniz, o tempo era a sucessão de eventos ligados por uma cadeia de causalidade, ou seja, percebemos um fluxo do tempo porque uma causa gera um efeito. Sem causalidade não há fluxo de tempo. Para Newton, o tempo era algo absoluto, universal, independente do fato de existirmos ou de estarmos conscientes de sua existência. A Física de Newton, que de uma maneira profunda revolucionou as ciências e permitiu o desenvolvimento tecnológico dos séculos vindouros, impressionou de tal maneira o filósofo alemão Immanuel Kant que este escreveu a primeira de suas *Críticas* com o objetivo, entre outros, de fornecer à Mecânica de Newton e à Geometria de Euclides um arcabouço filosófico.

Para Kant, possuímos um sentido externo, como o qual exploramos o mundo ao nosso redor e que nos proporciona sensações no espaço. Por outro lado, nosso sentido interno produz representações daquilo que foi apreendido pelo sentido externo no tempo. Assim, tempo e espaço são as pré-condições de todo o conhecimento humano. Não conseguimos imaginar quaisquer objetos fora do tempo e do espaço. Um exemplo torna esta idéia mais clara: quando “vemos” um objeto na verdade estamos vendo os

Einstein, Gödel
ou Leibniz estão
muito próximos
de nossa realidade
cotidiana: ao
navegar pela
Internet ou
escutar um
CD, utilizamos
tecnologias vindas
do trabalho destes
três nomes

usam este resultado para argumentar sobre o poder da linguagem em criar novas maneiras de expressar novas idéias. Na área de Cognição, pode-se argumentar que nunca uma pessoa será capaz de entender a si mesma. Se a mente é um sistema fechado e tudo aquilo que pode saber sobre si baseia-se naquilo que sua própria mente já sabe, então, essa seria a razão por que nunca conseguiremos entender a mente humana, uma vez que só podemos estudá-la com o auxílio do nosso próprio intelecto. A pergunta, cuja resposta ainda não sabemos, é se o teorema de Gödel se aplica aos seres humanos.

Todo cientista
necessita de
uma filosofia se
quiser deixar de
ser apenas um
descobridor para
ser um gerador de
idéias

raios de luz por ele refletidos e que chegaram a nossa retina. O mundo externo é, deste modo, uma representação subjetiva das coisas em si no nosso cérebro. Esta representação empírica que nosso cérebro forma a partir de todos estes elementos é o que Kant chama de “sensações”. Einstein e Gödel, que conheciam profundamente estas idéias, sabiam também que mais do que o espaço, era a questão do tempo que fascinava os físicos, em particular seu caráter dinâmico: podemos parar num ponto do espaço, mas não podemos parar o tempo!

Quando Einstein criou sua teoria da Relatividade Especial, em 1905, o mundo das ciências se assombrou, pois diferentemente de Newton, Einstein mostrara que o tempo dependia do observador. Dois eventos que, para mim, ocorrem simultaneamente, podem ocorrer em tempos diferentes para alguém que se encontre em movimento em relação a mim. O tempo não é mais absoluto, agora ele é relativo. Onze anos mais tarde, quando criou sua Teoria Geral da Relatividade, Einstein mostrou que espaço e tempo estavam intrinsecamente conectados num único conceito chamado espaço-tempo. Em outras palavras, o andar do relógio pode não apenas depender da velocidade com que me desloco em relação a uma pessoa como também do lugar no espaço em que me encontro. Este fato é hoje observado com precisão matemática nos satélites GPS, tão fundamentais para a navegação aérea e marítima e que sem as teorias de Einstein não funcionariam.

Assim, ao questionar a verdadeira essência daquilo que chamamos de tempo e espaço, e em particular como o mundo nos pareceria caso pudéssemos andar junto a um raio de luz, Einstein provocou uma das

maiores revoluções científicas do século passado. Na Teoria da Relatividade Especial de Einstein, a luz tem um papel de primeira grandeza – sua velocidade é uma constante universal e nada pode andar mais rápido do que ela. É justamente em função desta constância³ que surge a relatividade do tempo. Afinal, a velocidade, como aprendemos na escola, é igual à razão entre o espaço percorrido pelo tempo necessário para percorrê-lo. Mas se o espaço percorrido tem valores diferentes, que dependem do estado de movimento de quem o mede, então, se mudarmos o numerador da razão (a distância), teremos que mudar o denominador (o tempo), para que a fração (a velocidade de luz) permaneça inalterada. Os relógios devem andar mais ou menos rápidos dependendo de seu estado de movimento⁴. O porquê disto ainda não sabemos, mas este fato foi verificado experimentalmente e forma hoje um dos pilares sobre o qual está fundamentada toda a Física. Caso não fosse verdadeiro, o sistema de localização por satélites não funcionaria.

Em suas caminhadas diárias com Gödel, Einstein discutiu extensivamente o problema da sua teoria da Relatividade Geral e o fato que não obstante o tempo depender do observador, as soluções que ele obtinha de seu problema sempre mostravam um Universo que se expandia no tempo – ou seja, o tempo fluía⁵. O que Gödel fez foi estudar as equações de Einstein e mostrar que elas admitiam soluções (ou Universos, conhecidos como Universos de Gödel) nas quais seria possível voltar no tempo! Mas como disse o próprio Gödel, que passado é este que nunca passou? Um tempo que nunca passa não pode ser intuitivamente sentido.



ABILE STOCK



FUNDAÇÃO WIKIMEDIA

O SISTEMA BINÁRIO DE LEIBNIZ

Quando escrevemos um número, por exemplo, 178, estamos usando o sistema decimal, formado por 10 símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), com os quais podemos escrever quaisquer números. A característica fundamental do sistema decimal é que, ao aumentarmos o número em 1, simplesmente substituímos o número que aparece na coluna da unidade (no caso de 178 o dígito 8) mudando assim de 178 para 179. Completada uma dezena (daí o nome decimal), mudamos o número correspondente às dezenas (neste caso o 7) e assim por diante, sempre de dez em dez. O sistema decimal nos parece mais natural apenas porque nos

acostumamos a ele desde pequenos. Entretanto, há outros sistemas que usam uma quantidade diferente de símbolos para representar números.

Assim, da mesma maneira que 178 pode ser escrito como $1 \times 100 + 7 \times 10 + 8 \times 1$ (1 centena mais 7 dezenas mais 8 unidades), a maneira mais econômica de se escrever um número (econômico, no sentido de quantidade de símbolos diferentes a serem empregados) é obtida ao usarmos no lugar de 10 sinais diferentes apenas 2: 0 e 1. Podemos assim escrever 178 como $178 = 1 \times 128 + 0 \times 64 + 1 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 0 = 10110010$, em que escrevemos apenas os dígitos que multiplicam as

potências de 2 (2, 4, 8, 32, 64, 128..).

Se tivéssemos sido treinados desde a infância no sistema binário, reconheceríamos imediatamente em 1011001 o número 178 e teríamos grande dificuldade em reconhecer na grafia 178 o número 1011001. A razão pela qual os computadores usam o sistema binário é simples: os chips dos computadores são dispositivos que detectam impulsos elétricos em sua forma mais simples: a passagem (1) ou não (0) de corrente elétrica pelo circuito. Assim, para um chip de computador, o número 178 é visto como uma seqüência de sinais elétricos, que ora se faz presente, ora não.

Se um universo de Gödel existe em algum lugar, então lá o tempo não pode existir.

É comum ouvirmos que há poucas pessoas no mundo que entendem a Teoria da Relatividade de Einstein. Isso pode ter sido verdadeiro quando do surgimento da teoria, mas não hoje quando ela faz parte dos currículos dos cursos universitários em Física. Porém, no que diz respeito ao trabalho de Gödel acerca do tempo, muito provavelmente não se trata de uma inverdade. Poucos talvez tenham entendido seu real significado e muitos questionam seu verdadeiro conteúdo. Independente de ele estar certo ou não – e como ele mesmo provou, há coisas que nunca saberemos dizer se são falsas ou verdadeiras – uma coisa é certa: todo cientista, consciente ou inconscientemente, nutre posturas filosóficas. Podemos ir até mais longe e dizer que todo cientista necessita de uma filosofia se quiser deixar de ser apenas um descobridor e acumulador de fatos para

ser um gerador de idéias. Einstein e Gödel não apenas nutriram posturas filosóficas como o fizeram de maneira consciente, propugnando a importância do filosofar para as ciências e buscando no questionar filosófico, inspiração para seus trabalhos. Mas o verdadeiro legado de sua interação ainda não foi totalmente explorado. ●

3 - Esta é a dificuldade conceitual da Teoria de Einstein: a constância da velocidade da luz independente do estado dinâmico do observador. Um exemplo cotidiano deixa isso claro: se eu estiver sentado dentro de um carro a 100 km/h, tudo dentro do carro estará parado (velocidade nula) em relação a mim, inclusive a maçã que eu estiver segurando no momento. Para uma pessoa na rua, a maçã obviamente tem uma velocidade igual a minha. A velocidade da maçã depende assim do estado de movimento de quem a observa. Porém, em se tratando da luz, a coisa é diferente: tanto uma pessoa dentro do carro quanto fora medirá sempre a mesma velocidade para um raio de luz. A velocidade da luz é independente do estado de movimento que a observa. A Teoria da Relatividade Especial se ocupa dos estudos das conseqüências deste fato.

4 - Novamente usando o exemplo da maçã: para uma pessoa parada, que me vê passando com uma maçã no carro, a fruta terá percorrido 100 km em uma hora. Para mim, que estou levando a maçã comigo dentro do automóvel, a maçã terá percorrido quando muito a distância entre minha boca e meu estômago. Assim, a distância percorrida depende do indivíduo estar ou não se movimentando em relação à maçã.

5 - O cerne da Teoria da Relatividade Geral de Einstein é a famosa Equação de Einstein, uma fórmula matemática para a geometria do espaço-tempo. Suas soluções são interpretadas como possíveis universos.

