

Ciência e Informação

LÉON BRILLOUIN

Trad. de Lygia Nazareth Fernandes

RECENTEMENTE, "Informação" é uma nova teoria científica, nascida e desenvolvida nos últimos anos. Tínhamos as matemáticas (puras ou aplicadas), o cálculo das probabilidades, a física teórica... E aí está a teoria da Informação. No começo, esta nova doutrina teve razões utilitárias: que fazer medir a quantidade de Informação contida em determinada mensagem? Como definir a Informação transportada por um sistema de sinais telegráficos: pontos, traços e pausas do código Morse, por exemplo? Enfim, como encontrar o código ótimo, o sistema de símbolos capazes de traduzir a mensagem em sinais telegráficos da maneira mais econômica possível, sem nada perder da Informação que se deve transmitir? Este exemplo indica as preocupações de um engenheiro telegráfico. Em telefonia, rádio, televisão e radar, são análogos os problemas.

Destas preocupações tão materialistas nasceu uma teoria ao mesmo tempo matemática e prática, aparentada com o cálculo das probabilidades. Ela permite resolver os problemas dos engenheiros de transmissões, mas leva também a formular perguntas essenciais para as ciências: qual o valor da informação obtida em uma experiência? A quanto monta o seu preço? Quanto custa em dispêndio de energia? Na exposição que se segue, o autor examina as bases da teoria da Informação, seus limites e suas restrições. Indica o que se pode obter com os métodos atuais, e discute alguns problemas que ultrapassam nitidamente o quadro dessa teoria, sob a forma em que ela é presentemente concebida. Este exame sugere possibilidades (ainda inexploradas) de extensão e de generalização.

1. INFORMAÇÃO CIENTÍFICA

A ciência acaba de conquistar um novo território; esta descoberta abre um campo novo aos exploradores e atrai os pioneiros. É fenômeno curioso de analisar, um caso interessante para a história. Merece exame esta súbita expansão do domínio científico. Que se passou ao certo? Até onde se estende esse território novo? Será uma invasão, pela ciência, dos territórios reservados à filosofia, ou antes a descoberta de região desconhecida, de terra inexplorada que escapara aos pesquisadores? Tentemos responder a essas perguntas.

Antes de mais nada, que se entende por "Informação"? Em inglês e em francês, os dicionários estão de acordo. Trata-se de fatos brutos, de resulta-

dos de observação, transmissíveis de uma pessoa a outra; de notícias e esclarecimentos, ainda não coordenados em doutrina. Informações que representam simples coleção de fatos, matéria prima para a reflexão (informações meteorológicas, ou de bolsa, por exemplo). A ciência e o conhecimento, pelo contrário, supõem o esforço de um pensamento que coordena, classifica e compara os fatos, esforçando-se por organizá-los em regras e em leis mais gerais.

2. LINGUAGEM CIENTÍFICA

Para formular uma teoria científica da Informação, devemos partir de uma definição precisa. A ciência começa por definições e dá às palavras que emprega significações unívocas, não se prestando a nenhuma ambigüidade ou malentendido. O "espírito de finura" cede lugar ao rigor cartesiano.

A definição válida para uma ciência pode, aliás, diferir inteiramente da utilizada por outra: "sinus" (seno) tem um sentido definido para um matemático, e significa coisa completamente diversa em anatomia; nenhuma confusão é possível entre êsses domínios afastados. A trigonometria ignora as sinusites, e o médico não trata do "cosinus" (co-seno).

A restrição unívoca do sentido das palavras é uma característica da linguagem científica; definições idênticas são utilizadas em diversas línguas. A tradução é, assim, simplificada por uma correspondência "biunívoca" dos termos: a cada palavra alemã corresponde uma palavra francesa, apenas uma. Mas isso só ocorre em ciência. A compreensão mútua dos povos estaria bastante facilitada se tal correspondência existisse nas línguas reais.

Quando as palavras usuais são empregadas, é com um sentido preciso e restrito, mas freqüentemente forjamos palavras novas. Assim se constitui uma gíria científica, precisa e clara para o sábio, obscura e impenetrável para o amador não iniciado.

Dois métodos essenciais servem a essas definições: teórico ou empírico. O matemático parte de um número mínimo de postulados, e daí faz derivar entidades mais complexas, especificando-lhes as relações com os postulados iniciais. Essas definições são traduções claras de fórmulas simbólicas, que ligam novas quantidades às introduzidas anteriormente.

As ciências experimentais utilizam processo diferente, caracterizado pelo termo "operacional". Determinada massa, certa força são definidas por meio de curta descrição do tipo de experiência que permite a medida destas quantidades. O ponto de vista operacional foi grandemente recomendado pelos sábios mais eminentes, e P. W. BRIDGMAN é o seu defensor convicto. Em lógica pura, não se deveria introduzir nenhum termo que não pudesse ser definido pelo método operacional. Muitas vezes, porém, esta regra não foi seguida; imagens baseadas em simples analogias insinuaram-se na linguagem, e mais tarde foi bem difícil eliminá-las: os físicos falaram muito tempo de "éter luminoso", até que a teoria da relatividade, de EINSTEIN, demonstrasse o vazio desse palavrório.

3. DEFINIÇÃO

Uma teoria científica da Informação deve começar por uma definição da palavra, precisa e restritiva ao mesmo tempo. Para maior generalidade, escolhamos uma definição absoluta, que de modo algum permite interferir a personalidade do observador; trata-se de eliminar qualquer elemento psicológico, ou de interesse particular. Que resta como critério possível? a raridade, o imprevisto.

Examinemos um problema suscetível de uma série de respostas, igualmente provável *a priori*. Quando obtemos os elementos de informação suficientes, a solução decorre exatamente dêles. Decidimos, pois, medir a quantidade de informação baseando-nos no número P das soluções inicialmente possíveis, quando essa informação estava ausente. De modo mais preciso, a informação se define como igual ao logaritmo do número P . A introdução dos logaritmos se faz necessária para que a informação total de dois problemas independentes seja simplesmente a soma das duas informações separadas.

Todo elemento humano foi excluído dêste esquema. Não resta mais que uma estatística cega: contar quantos casos possíveis existiam antes da informação. Quanto mais elevado fôr o número de casos, maior será a incerteza inicial, e mais ampla a informação pedida. Examinemos um baralho de 32 cartas, e tiremos-lhe uma ao acaso; a informação assim obtida se mede pelo logaritmo de 32. (1) Se o baralho contivesse 52 cartas, a incerteza seria maior, e a informação mais elevada (logaritmo de 52). Pouco importa que tirássemos um ás, um rei ou um sete, de espadas ou de ouros. O valor da carta, em um jogo qualquer, é eliminado, pois não nos interessam as regras eventuais dêsse jogo nem o caráter do jogador.

Com isso restringimos grandemente o sentido da palavra Informação; tal é o penhor que nos liberta dos casos particulares para só guardar o essencial, em tôda a generalidade. Sobre esta base precisa, se elabora uma teoria científica.

4. ALGUNS RESULTADOS E APLICAÇÕES

As aplicações são numerosas, e os prospectores já arrecadaram rica colheita. A eliminação sistemática de todo caráter pessoal fornece o indispensável ponto de vista prático: o engenheiro que estabelece um sistema telefônico não tem que preocupar-se com a natureza das conversas por transmitir: conversa-mole, mexericos, novidades diplomáticas, pouco lhe importam. Seu problema é transmitir corretamente a palavra, sem ruídos nem deformações capazes de destruir a informação falada. O construtor de uma máquina matemática não pergunta se essa calculadora servirá para resolver problemas

(*) In: *Nouvelle Revue Française* 31: 55-66. Paris, Juillet 1955.

(1) E' de praxe, em teoria da Informação, utilizar os logaritmos de base 2. Obtém-se então a medida em notação binária (em inglês: *binary digits*, abreviação "bits"). No exemplo acima o logaritmo binário de 32 é = a 5, e o de 52 vale cerca de 5,7. Temos, pois uma informação de 5 bits tirando uma carta entre 32 e 5,7 bits, num baralho de 52 cartas.

de astronomia ou de contabilidade. A máquina deve fazer as quatro operações, seguindo qualquer programa arbitrariamente dado, e registrar o resultado dos cálculos.

Em todos esses problemas, a teoria indica as condições necessárias e acentua os limites das possibilidades permitidas. Quer se trate de telefonia, rádio, telegrafia, ou cálculo, as máquinas podem substituir o homem onde quer que o pensamento não seja necessário. Máquina alguma pode criar uma nova informação, mas pode confeccionar, transformar, modificar. O essencial é nada perder nessas metamorfoses, e estar certo de reencontrar tanta informação quanta foi fornecida. A máquina matemática equivale a um tradutor. Seu papel foi definido, há mais de cem anos, com uma precisão surpreendente:

“Se essas máquinas revelassem gênio, que deveríamos então pensar da *máquina de calcular*, do senhor BABBAGE? Que pensaremos de uma mecânica de madeira ou de metal, que não só pode computar as tábuas astronômicas e náuticas até qualquer ponto dado, mas ainda confirmar a certeza matemática de suas operações pela faculdade de corrigir os erros possíveis? Que pensaremos de uma mecânica que não só pode efetuar tudo isso, mas ainda imprime os resultados dos seus complicados cálculos, logo que obtidos, e sem a mais leve intervenção da inteligência humana? Responder-se-á talvez que uma espécie de máquina assim está, sem comparação, bem acima do *jogador de xadrez*, de Maelzel. De modo algum; é, pelo contrário, bem inferior, desde que tenhamos admitido previamente (o que não poderia ser razoavelmente admitido um só instante) que o *jogador de xadrez é pura máquina*, e efetua suas operações sem nenhuma intervenção humana imediata. Os cálculos aritméticos ou algébricos são, por sua própria natureza, fixos e determinados. Admitidos certos dados, seguem-se necessária e inevitavelmente certos resultados. Estes não dependem de nada, e nenhuma influência sofrem, salvo dos dados primitivamente admitidos. E a questão marcha, ou deveria marchar, para a solução final, por uma série de pontos infalíveis, que não são passíveis de qualquer mudança nem se submetem a qualquer modificação. Aceito isto, é-nos lícito, sem dificuldade, conceber a *possibilidade* de construir uma peça mecânica que, tendo seu ponto de partida nos *dados* da questão em foco, continuará seus movimentos, regular e progressivamente, sem nenhum desvio, até a solução pedida, pois estes movimentos, por mais complexos que os suponhamos, jamais poderão ser concebidos senão como acabados e determinados.” (2)

E' impossível exprimir mais claramente o sentido da máquina de calcular clássica. Acrescentemos, entretanto, que essas máquinas são agora frequentemente completadas por órgãos de percepção e de comando, e que

(2) Charles Baudelaire: “Histoires grotesques et sérieuses”, par EDGAR POE; Le joueur d'échecs de Maelzel.

podem reagir então a excitações exteriores, controlar instalações complexas e regular automaticamente mecanismos delicados. Neste ponto, a técnica moderna ultrapassou nitidamente EDGAR POE, e êsses aperfeiçoamentos da automatização vão modificar profundamente a vida social, suprimindo, em muitas usinas, o trabalho dos operários.

A teoria da Informação mostra-se extremamente fecunda em domínio inteiramente distinto, o da ciência pura. Permite a discussão metódica das condições essenciais da observação, e marca limites à precisão das experiências fisicamente realizáveis. Não insistiremos nesses importantes problemas, que se acham discutidos em obra recente. (3)

5. DOMÍNIO DESSAS TEORIAS

Voltemos às questões levantadas no início desta exposição. A ciência conquistou um novo domínio, mas não terá invadido o terreno filosófico? Certamente não. Definir a informação absoluta é uma idéia nova, que abriu caminhos desconhecidos: todo o terreno conquistado não passava de um "território inexplorado", no mapa dos conhecimentos. Êste território nos leva até as fronteiras da filosofia, sem ultrapassá-las.

Com êsses métodos demasiado rigorosos, sentimo-nos incapazes de estudar os problemas de valor da Informação, e de analisar o pensamento. Qual o papel da reflexão? Permite-nos ela criar informações novas, ou se reduz à tarefa de tradução e de interpretação? Êsses problemas nos são atualmente inacessíveis, reclamando, por certo, profunda revisão dos métodos empregados, demasiado gerais e demasiado estritos até agora.

6. VALOR RELATIVO DA INFORMAÇÃO

Deixemos os caminhos percorridos, e caminhemos a esmo. Procuremos ver para além do morro que barra a horizonte.

A primeira noção por introduzir é a de *valor*. Uma informação pode ser essencial para Paulo, e supérflua para Pedro. Um artigo de jornal interessa moderadamente milhares de leitores; um teorema de EINSTEIN só atinge a pequenino número de sábios, mas suscita nêles um vivo interesse.

Já definimos a grandeza absoluta da Informação; falta-nos a medida do valor relativo a um certo observador, variável de um a outro indivíduo. A grandeza absoluta representaria o valor da informação para uma pessoa infinitamente sábia e extremamente curiosa, que tudo sabe e para tudo se volta. Infelizmente, isso não passa de uma abstração. Voltemos à terra.

Cada um de nós possui apenas uma curiosidade limitada. Eliminamos as informações que não nos atingem, e escolhemos os assuntos que nos atraem. Esta seleção representa um processo de filtragem; ora, os filtros são instrumentos familiares ao físico: um vidro azul elimina as radiações vermelhas, e só de'ixa passar o azul. Se algum objeto irradia somente o vermelho, o filtro azul não o indicará; uma mancha negra aparecerá em lugar do reflexo vermelho. Em telefonia, o filtro elétrico desempenha papel análogo; detém

(3) L. BRILLOUIN: "Science et Information", Academic Press, New York, 1955.

certos sinais e deixa passar outros. Deter sinais é, evidentemente, restringir as informações recebidas, e eliminar fontes de informação. A filtragem é uma operação irreversível; partindo das informações filtradas e truncadas, torna-se impossível reconstituir a informação total.

O valor de uma informação, relativa a determinado usuário, depende de seu sistema pessoal de filtragem, mas em pura lógica, devemos decidir que este valor particular é necessariamente inferior à medida absoluta da informação, pois esta última representa o valor para um observador onisciente e curioso de tudo.

Esta comparação com os filtros parece que deve ser preciosa. E' sugerida aqui, mas não foi ainda explorada.

7. ALGUNS PROBLEMAS DE "VALOR"

No Congresso de Milão, no ano passado, COUFFIGNAL colocou o problema do pós-escrito.

Paulo expede um telegrama, que contém 100 unidades binárias de informação; depois, muda de parecer, e acrescenta zero ou 1, com o sentido seguinte:

0: está errado, não tome em consideração;

1: correto.

Qual é a informação total do telegrama? Em medida absoluta, isso forma precisamente 101, pois o 0 ou 1 terminal representa uma escolha binária entre duas alternativas possíveis.

Entretanto, temos a impressão de que o zero anula tôda a informação inicial. Como resolver este paradoxo? A resposta é que se trata aqui do valor da mensagem para o destinatário. Um observador curioso de tudo, mesmo de raciocínios falsos, recebe as 101 unidades de informação, e indaga: afinal de contas, nosso amigo Paulo sabe o que está dizendo? Examinemos por nossa conta, e decidamos.

Se levar Paulo a sério, o destinatário Pedro consulta o algarismo final e conclui:

0: o valor da mensagem é nulo;

1: o valor é 100, pois o último algarismo de contrôle nada acrescenta (chamamo-lo "redundância"). Em suma, é um problema de valor, e nêle voltamos a encontrar a característica da filtragem: o valor é 0 ou 100, de qualquer modo, inferior à medida absoluta 101.

Em lugar dêsse pós-escrito brutal, de oito ou oitenta, Paulo pode acrescentar uma censura mais discreta, um algarismo compreendido entre 0 e 8, por exemplo (8 representa 3 unidades binárias). Corresponde isso a 103 unidades binárias de informação, em grandeza absoluta, bruta. Mas Paulo atribui um sentido de confiança ao último algarismo; é uma cota de valor:

0: nenhum valor;

1: valor estimado em 1/8;

2: valor 2/8;

...

8: valor 8/8, isto é, certeza.

Que pensará Pedro sobre isso? Depende de seu interesse por mensagens mais ou menos incertas. Pode aceitar todos os esclarecimentos, até os mais improváveis, dispensando-se de compará-los com outras fontes de informação, de fazer verificações e julgar. Ou, senão, ele é intransigente, e só aceita a cota 8, de certeza.

O valor pode, assim, conforme o caráter de Pedro, variar de 0 a 100. E' ainda um problema de filtragem.

Um exemplo fixará essas idéias. Foi escolhido em certo domínio de aplicações onde a teoria geral se revelou muito fecunda: o dos códigos e linguagens cifrados. Em que medida podemos codificar a mensagem cifrada e conservar intacta a informação nela contida? Procuramos condensar um telegrama, por determinada cifra que diminua o número dos símbolos, mas há um limite, para além do qual a compreensão se faz à custa da informação.

Para essas discussões, nossa teoria da Informação é um guia precioso, mas a noção de "valor" surge de repente no problema dos erros de transmissão, erros de impressão, etc. Especifiquemos um caso típico:

Um telegrama em código binário é reduzido a uma série de algarismos, 0 ou 1. por exemplo:

Mensagem A: 0011010001;

Mensagem B: 0111001001.

Erros de transmissão são sempre possíveis. Para remediá-los parcialmente, acrescentemos um 1 ou um 0, tornando par o número total dos 1:

A, acrescentar 0;

B, acrescentar 1.

O erro introduzido na transmissão pode consistir na troca de 0 por 1 ou, senão, de 1 por 0, e poderemos ter um ou vários erros superpostos. Na recepção, o destinatário verifica e encontra:

Número total dos 1, par;

ou então, número total dos 1, ímpar.

No primeiro caso, pode ter ocorrido:

0, 2, 4... erros;

no segundo caso:

1, 3, 5... erros.

No segundo caso, está certamente errado; já o primeiro telegrama pode estar certo ou errado.

Este sistema simples pôde ser aperfeiçoado graças ao emprego de maior número de sinais de controle.

Os problemas de *valor* marcam uma linha de pesquisas novas, não abordada até agora senão de maneira muito fragmentária. Seria preciso multiplicar os exemplos, discutir metódicamente os processos de filtragem e de controle desses modelos especiais, e depois tentar, desses casos particulares, extrair regras mais gerais, coordenando o todo em doutrina coerente. O método científico baseado na teoria das probabilidades, começaria então a transbordar para o terreno filosófico, e a penetrar nos problemas do conhecimento.