

NORBERT WIENER

*Professor de Matemática do Instituto
de Tecnologia de Massachusetts (M. I. T.)*

CIBERNÉTICA
E
SOCIEDADE

O USO HUMANO
DE SÊRES HUMANOS

Tradução de
JOSÉ PAULO PAES



EDITORA CULTRIX
SÃO PAULO

AGRADECIMENTOS

Parte de um capítulo já foi divulgada em *Philosophy of Science*. O autor agradece a permissão que o redator-chefe dessa publicação lhe concedeu para que republicasse o referido texto.

PREFÁCIO

A IDÉIA DE UM UNIVERSO CONTINGENTE

Os primórdios do século XX assinalaram mais que o fim de um período de cem anos e o início de outro. Houve efetiva mudança de ponto de vista mesmo antes que fizéssemos a transição política de um século dominado, no geral, pela paz, para o meio século de guerra que estivemos a viver. Isso se tornou talvez manifesto primeiramente na Ciência, embora seja muito possível que o que quer que tenha afetado a Ciência conduzisse, independentemente, àquela acentuada ruptura que constatamos existir entre as artes e a literatura do século XIX e do século XX.

A Física newtoniana, que dominara de fins do século XVII até fins do século XIX, com raríssimas vozes discrepantes descrevia um universo em que tudo acontecia precisamente de acôrdo com a lei; um universo compacto, cerradamente organizado, no qual todo futuro depende estritamente de todo o passado. Um quadro que tal não pode nunca ser de todo justificado nem de todo rejeitado experimentalmente, e pertence, em larga medida, a uma concepção do mundo que, sendo complementar da experiência, é, em certos aspectos, mais universal do que qualquer coisa que se possa verificar experimentalmente. Não podemos nunca comprovar, por meio de nossos imperfeitos experimentos, se êste ou aquêlê conjunto de leis físicas é passível de verificação até a última decimal. A concepção newtoniana, contudo, via-se compelida a apresentar e formular os processos físicos como se estivessem, de fato, sujeitos a tais leis. Essa atitude deixou de prevalecer na Física, e os homens que mais contribuíram para a sua queda foram Boltzmann, na Alemanha, e Gibbs, nos Estados Unidos.

Esses dois físicos intentaram a aplicação radical de uma nova e emocionante idéia. Talvez o uso de estatística em Física, por eles introduzido em larga medida não fôsse inteiramente nôvo, pois Maxwell e outros haviam considerado mundos de um número muito grande de partículas que tinham de ser necessariamente tratados de modo estatístico. Mas o que Boltzmann e Gibbs fizeram foi introduzir a estatística na Física de maneira muito mais completa, de sorte que a abordagem estatística se tornou válida não apenas para sistemas de enorme complexidade, mas inclusive para sistemas tão simples quanto o de uma única partícula num campo de força.

A Estatística é a ciência da distribuição, e a distribuição tencionada por esses cientistas modernos não dizia respeito a grande número de partículas similares, mas às várias posições e velocidades a partir das quais um sistema físico poderia ter início. Por outras palavras: no sistema newtoniano, as mesmas leis físicas se aplicavam a uma multiplicidade de sistemas que se iniciavam a partir de uma multiplicidade de posições e de momentos. Os novos estatistas lançaram inédita luz sobre este ponto de vista. Mantiveram, na verdade, o princípio segundo o qual se poderiam distinguir certos sistemas de outros pela sua energia total, mas rejeitaram a suposição de que sistemas com a mesma energia total pudessem ser distinguidos com nitidez, indefinidamente, e descritos para sempre por meio de leis causais.

Havia, na realidade uma importante restrição estatística implícita na obra de Newton, embora o século XVIII, que vivia de acôrdo com Newton, a ignorasse. Nenhuma medição física é jamais precisa; e o que tenhamos a dizer acêrca de uma máquina ou de outro sistema mecânico qualquer concerne não àquilo que devemos esperar quando as posições e momentos iniciais sejam dados com absoluta precisão (o que jamais ocorre), mas o que devemos esperar quando eles são dados com a precisão alcançável. Isso significa apenas que conhecemos, não as condições iniciais completas, mas algo acêrca de sua distribuição. Por outras palavras: a parte funcional da Física não pode furtar-se a considerar a incerteza e contingências dos eventos. O mé-

rito de Gibbs foi o de apresentar, pela primeira vez, um método científico bem definido para levar em consideração essa contingência.

É em vão que o historiador de Ciência busca uma linha única de desenvolvimento. A obra de Gibbs, conquanto fôsse bem talhada, era mal costurada, e caberia a outros completar o trabalho que ele havia começado. A intuição em que baseara seu trabalho era a de que, de modo geral, um sistema físico pertencente a uma classe de sistemas físicos que continua a manter sua identidade como classe, eventualmente reproduz, em quase todos os casos, a distribuição que exhibe, a qualquer momento dado, em relação à classe tôda de sistemas. Por outras palavras: em certas circunstâncias, um sistema passa por tôdas as distribuições de posição e momento que sejam compatíveis com a sua energia, se se mantiver em ação tempo suficiente.

Esta última proposição, contudo, só é verdadeira ou possível para sistemas triviais. Não obstante, há outro caminho que leva aos resultados de que Gibbs carecia para fundamentar sua hipótese. A ironia da História reside em que esse caminho estava sendo explorado em Paris, de modo muito completo, exatamente na ocasião em que Gibbs trabalhava em New Haven; no entanto, foi só em 1920 que o trabalho de Paris se encontrou com o de New Haven numa fecunda união. Creio ter tido a honra de assistir ao nascimento do primeiro filho dessa união.

Gibbs tinha de trabalhar com teorias de medição e probabilidade já velhas de pelo menos vinte e cinco anos, e que eram flagrantemente inadequadas para as suas necessidades. Ao mesmo tempo, porém, Borel e Lebesgue, em Paris, estavam ideando a teoria da integração, que se iria demonstrar apropriada para as idéias de Gibbs. Borel era um matemático que já havia firmado sua reputação na teoria das probabilidades e que tinha excelente compreensão da Física. Seu trabalho conduziu-o a essa teoria de medição, mas ele não alcançou o estágio em que poderia rematá-la numa teoria completa. Isso foi feito por seu discípulo Lebesgue, que era uma pessoa de espécie muito diferente. Não tinha inclinação para a Física nem qual-

quer interêsse nela. Malgrado isso, resolveu o problema suscitado por Borel, mas considerava a solução dêsse problema apenas um instrumento para as séries de Fourier e outros ramos da Matemática pura. Surgia uma querela entre os dois homens quando ambos se tornaram candidatos à Academia de Ciências da França e, após muita difamação mútua, ambos receberam a honraria. Borel, contudo, continuou a sustentar a importância do trabalho de Lebesgue e dêle próprio como um instrumento físico; acredito, porém, que eu tenha sido, em 1920, a primeira pessoa a aplicar a integral de Lebesgue a um problema específico de Física — o do movimento browniano.

Isso aconteceu muito depois da morte de Gibbs, cujo trabalho permaneceu, durante duas décadas, um dêsse mistérios da Ciência, que ocorrem, embora pareça que não devessem ocorrer. Muitos homens têm tido intuições muito avançadas para a sua época, e isso não é menos verdade no campo da Física matemática. A introdução das probabilidades em Física, feita por Gibbs, verificou-se bem antes de haver uma teoria adequada da espécie de probabilidade de que êle carecia. A despeito de tôdas essas lacunas, estou convencido de que é a Gibbs, mais do que a Einstein, Heisenberg ou Planck, que devemos atribuir a primeira grande revolução da Física do século XX.

Essa revolução teve como efeito fazer com que a Física, hoje, não mais sustente cuidar daquilo que irá sempre acontecer, mas, antes, do que irá acontecer com esmagadora probabilidade. A princípio, na própria obra de Gibbs, tal atitude contingente se sobrepunha a uma base newtoniana na qual os elementos cuja probabilidade se iria discutir eram sistemas que obedeciam, todos, às leis newtonianas. A teoria de Gibbs era essencialmente nova, mas as permutações com que se mostrava compatível eram as mesmas consideradas por Newton. O que aconteceu à Física desde então foi que se abandonou ou modificou a rígida base newtoniana, e a contingência gibbsiana agora se ergue, desnudamente, como o alicerce integral da Física. É bem verdade que o balanço ainda não está definitivamente encerrado, no concernente a esta questão, e que Einstein e,

em algumas de suas fases, De Broglie, ainda sustentam que um mundo rigidamente determinista é mais aceitável que um mundo contingente; êstes grandes cientistas, porém, estão travando um combate de retaguarda contra a força esmagadora de uma geração mais jovem.

Uma interessante mudança ocorrida foi a de que, num mundo probabilístico, não mais lidamos com quantidades e afirmações que digam respeito a um universo específico e real como um todo, mas, em vez disso, formulamos perguntas que podem ter respostas num grande número de universos similares. Dessarte, admitiu-se o acaso na Física não apenas como um instrumento matemático, mas como parte de sua mesma trama.

Esse reconhecimento de um elemento de determinismo incompleto, de quase irracionalidade, no mundo, é, de certo modo, análogo à admissão freudiana de um profundo componente irracional na conduta e no pensamento humano. No mundo atual, de confusão tanto política quanto intelectual, há uma tendência natural a classificar conjuntamente Gibbs, Freud e os proponentes da moderna teoria das probabilidades como representantes de uma única tendência; entretanto, não quero insistir neste ponto. A distância entre o modo de pensar de Gibbs-Lebesgue e o método intuitivo, mas algo discursivo, de Freud, é grande demais. Entretanto, no reconhecer um elemento fundamental de acaso na textura do próprio universo, êsses homens estão próximos um do outro, e próximos da tradição de Santo Agostinho. Pois tal elemento casual, tal orgânico inacabamento,* é algo que, sem recorrer a uma figura de retórica por demais violenta, podemos considerar como mal; o mal negativo que Santo Agostinho caracteriza como inacabamento, em contraposição ao mal positivo e maligno dos maniqueus.

Êste livro trata do impacto do ponto de vista gibbsiano na vida moderna, quer através das mudanças substantivas que ocasionou na Ciência ativa, quer das alterações que indiretamente suscitou em nossa atitude para com a vida em

* No original, *incompleteness*. (N. do T.)

geral. Por isso, os capítulos que se seguem contêm um elemento de descrição técnica bem como um componente filosófico que diz respeito ao modo por que reagimos ao nôvo mundo com que nos defrontamos, e o modo por que deveríamos reagir.

Repito: a inovação de Gibbs foi a de considerar não um mundo, mas todos os mundos que sejam respostas possíveis a um grupo limitado de perguntas referentes ao nosso meio ambiente. Sua noção fundamental dizia respeito à extensão em que as respostas que possamos dar a perguntas acêrca de um grupo de mundos são prováveis em meio a um grupo maior de mundos. Além disso, Gibbs formulou a teoria de que essa probabilidade tendia naturalmente a aumentar conforme o universo envelhecesse. A medida de tal probabilidade se denomina entropia, e a tendência característica da entropia é a de aumentar.

Conforme aumenta a entropia, o universo, e todos os sistemas fechados do universo, tendem naturalmente a se deteriorar e a perder a nitidez, a passar de um estado de mínima a outro de máxima probabilidade; de um estado de organização e diferenciação, em que existem formas e distinções, a um estado de caos e mesmice. No universo de Gibbs, a ordem é o menos provável e o caos o mais provável. Todavia, enquanto o universo como um todo, se de fato existe um universo íntegro, tende a deteriorar-se, existem enclaves locais cuja direção parece ser o oposto à do universo em geral e nos quais há uma tendência limitada e temporária ao incremento da organização. A vida encontra seu *habitat* em alguns desses enclaves. Foi com êsse ponto de vista em seu âmago que a nova ciência da Cibernética principiou a desenvolver-se.*

* Há aquêles que se mostram céticos quanto à precisa identidade entre entropia e desorganização biológica. Ser-me-á necessário avaliar tais críticas mais cedo ou mais tarde; no entanto, por ora, devo admitir que as diferenças residem, não na natureza fundamental dessas quantidades, mas nos sistemas em que são observadas. Seria demais esperar uma definição terminante e precisa de entropia acêrca da qual todos concordassem em algo menos que o sistema fechado, isolado.

I

A CIBERNÉTICA NA HISTÓRIA

Desde o fim da Segunda Guerra Mundial, venho trabalhando nas muitas ramificações da teoria das mensagens. Além da teoria da transmissão de mensagens da engenharia elétrica, há um campo mais vasto que inclui não apenas o estudo da linguagem mas também o estudo das mensagens como meios de dirigir a maquinaria e a sociedade, o desenvolvimento de máquinas computadoras e outros autômatos que tais, certas reflexões acêrca da psicologia e do sistema nervoso, e uma nova teoria conjectural do método científico. Esta mais vasta teoria das mensagens é uma teoria probabilística, uma parte intrínseca do movimento que deve sua origem a Willard Gibbs e que descrevi na introdução.

Até recentemente, não havia palavra específica para designar êste complexo de idéias, e, para abarcar todo o campo com um único termo, vi-me forçado a criar uma. Daí "Cibernética", que derivei da palavra grega *kubernetes*, ou "pilôto", a mesma palavra grega de que eventualmente derivamos nossa palavra "governador". Descobri casualmente, mais tarde, que a palavra já havia sido usada por Ampère com referência à ciência política e que fôra inserida em outro contexto por um cientista polonês; ambos os usos datavam dos primórdios do século XIX.

Escrevi um livro mais ou menos técnico, intitulado *Cibernética*, que foi publicado em 1948. Para atender a pedidos que me haviam sido feitos no sentido de tornar-lhe as idéias acessíveis ao público leigo, publiquei a primeira

edição de *O Uso Humano de Sêres Humanos* em 1950. Desde então, o assunto se converteu, de umas poucas idéias que eu partilhava com os Drs. Claude Shannon e Warren Weaver, num campo oficial de pesquisa. Por isso, aproveito a oportunidade oferecida pela reedição de meu livro para atualizá-lo e eliminar certos defeitos e inconseqüências de sua estrutura original.

Ao dar a definição de Cibernética no livro original, coloquei na mesma classe comunicação e contrôle. Por que fiz isso? Quando me comunico com outra pessoa, transmito-lhe uma mensagem, e quando ela, por sua vez, se comunica comigo, replica com uma mensagem conexa, que contém informação que lhe é originariamente acessível, e não a mim. Quando comando as ações de outra pessoa, comunico-lhe uma mensagem, e embora tal mensagem esteja no modo imperativo, a técnica de comunicação não difere da de uma mensagem de fato. Ademais, para o meu comando ser eficaz, tenho de tomar conhecimento de quaisquer mensagens vindas de tal pessoa que me possam indicar ter sido a ordem entendida e obedecida.

A tese dêste livro é a de que a sociedade só pode ser compreendida através de um estudo das mensagens e das facilidades de comunicação de que disponha; e de que, no futuro desenvolvimento dessas mensagens e facilidades de comunicação, as mensagens entre o homem e as máquinas, entre as máquinas e o homem, e entre a máquina e a máquina, estão destinadas a desempenhar papel cada vez mais importante.

Quando dou uma ordem a uma máquina, a situação não difere essencialmente da que surge quando dou uma ordem a uma pessoa. Por outras palavras, tanto quanto alcança minha consciência, estou ciente da ordem emitida e do sinal de aquiescência recebido de volta. Para mim, pessoalmente, o fato de o sinal, em seus estágios intermediários, ter passado por uma máquina em vez de por uma pessoa, é irrelevante, e em nenhum caso altera significativamente minha relação com o sinal. Dessarte, a teoria do comando em engenharia, quer seja êle humano, animal ou mecânico, constitui um capítulo da teoria das mensagens.

Naturalmente, há diferenças de pormenor nas mensagens e nos problemas de comando, não apenas entre um organismo vivo e uma máquina, como dentro de cada classe mais restrita de sêres. O propósito da Cibernética é o de desenvolver uma linguagem e técnicas que nos capacitem, de fato, a haver-nos com o problema do contrôle e da comunicação em geral, e a descobrir o repertório de técnicas e idéias adequadas para classificar-lhe as manifestações específicas sob a rubrica de certos conceitos.

As ordens de comando por via das quais exercemos contrôle sôbre nosso meio ambiente são uma espécie de informação que lhe transmitimos. Como qualquer outra espécie de informação, essas ordens estão sujeitas a desorganização em trânsito. Geralmente, chegam a seu destino de forma menos coerente — e decerto não mais coerente — do que quando foram emitidas. Em comunicação e contrôle, estamos sempre em luta contra a tendência da Natureza de degradar o orgânico e destruir o significativo; a tendência, conforme no-lo demonstrou Gibbs, de a entropia aumentar.

Grande parte dêste livro concerne aos limites de comunicação dentro dos e entre os indivíduos. O homem está imerso num mundo ao qual percebe pelos órgãos dos sentidos. A informação que recebe é coordenada por meio de seu cérebro e sistema nervoso até, após o devido processo de armazenagem, colação e seleção, emergir através dos órgãos motores, geralmente os músculos. Estes, por sua vez, agem sôbre o mundo exterior e reagem, outrossim, sôbre o sistema nervoso central por via de órgãos receptores, tais como os órgãos terminais da cinestesia; e a informação recebida pelos órgãos cinestésicos se combina com o cabedal de informação já acumulada para influenciar as futuras ações.

Informação é termo que designa o conteúdo daquilo que permutamos com o mundo exterior ao ajustar-nos a êle, e que faz com que nosso ajustamento seja nêle percebido. O processo de receber e utilizar informação é o processo de nosso ajuste às contingências do meio ambiente e

de nosso efetivo viver nesse meio ambiente. As necessidades e a complexidade da vida moderna fazem, a este processo de informação, exigências maiores do que nunca, e nossa imprensa, nossos museus, nossos laboratórios científicos, nossas universidades, nossas bibliotecas e nossos compêndios estão obrigados a atender às necessidades de tal processo, sob pena de malograr em seus escopos. Dessarte, comunicação e controle fazem parte da essência da vida interior do homem, mesmo que pertençam à sua vida em sociedade.

O lugar ocupado pelo estudo da comunicação na história da Ciência não é nem trivial, nem fortuito, nem novo. Mesmo antes de Newton, tais problemas eram correntes em Física, especialmente no trabalho de Fermat, Huyghens e Leibnitz, que compartilhavam de um interesse, nela, cujo foco não era a Mecânica, mas a Ótica, a comunicação de imagens visuais.

Fermat fez avançar o estudo da Ótica com o seu princípio da minimização, segundo o qual, numa parte suficientemente breve de seu curso, a luz segue a trajetória que lhe custa menos tempo atravessar. Huyghens desenvolveu a forma primitiva do que é hoje conhecido como "Princípio de Huyghens" ao enunciar que a luz se expande de uma fonte luminosa formando ao redor dessa fonte algo assim como uma pequena esfera, consistente de fontes secundárias que, por sua vez, propagam a luz da mesma maneira que as fontes primárias. Leibnitz, entretanto, encarava o mundo todo como uma coleção de seres chamados "mônadas" cuja atividade consistia na percepção uns dos outros com base numa harmonia preestabelecida instaurada por Deus, e é evidente que concebia essa interação principalmente em termos óticos. Afóra esta percepção, as mônadas não tinham "janelas", de modo que, na concepção leibnitziana, toda interação mecânica se torna nada mais nada menos que uma sutil consequência da interação ótica.

A preocupação com ótica e com mensagem, que tal parte da filosofia de Leibnitz evidencia, impregna-lhe toda a textura. Desempenha papel de destaque em duas das suas idéias mais originais: a de *Characteristica Universalis*, ou

linguagem científica universal, e a de *Calculus Ratiocinator*, ou cálculo de lógica. Esse *Calculus Ratiocinator*, por imperfeito que fosse, é o antecessor direto da moderna lógica matemática.

Dominado pelas idéias de comunicação, Leibnitz é, em mais de um aspecto, o antecessor intelectual das idéias deste livro, pois estava também interessado em computação por máquina e em autômatos. Minhas concepções neste livro estão muito longe de serem leibnitzianas, mas os problemas que me preocupam são, sem dúvida alguma, leibnitzianos. As máquinas computadoras de Leibnitz eram apenas uma derivação de seu interesse por uma linguagem de computação, um cálculo raciocinante, que, por sua vez, era, em seu espírito, apenas uma extensão da idéia de uma completa linguagem artificial. Dessarte, mesmo no concernente à sua máquina computadora, as preocupações de Leibnitz eram principalmente lingüísticas e comunicacionais.

Pelos meados do século passado, o trabalho de Clerk Maxwell e de seu precursor Faraday, havia atraído mais uma vez a atenção dos físicos para a Ótica, a ciência da luz, a qual era então considerada uma forma de eletricidade que podia ser reduzida à mecânica de um meio curioso, rígido mas invisível, conhecido como éter; na época, supunha-se que o éter permeasse a atmosfera, o espaço interestelar e todos os materiais transparentes. O trabalho de Clerk Maxwell no campo da Ótica consistiu no desenvolvimento matemático de idéias que tinham sido anteriormente expressas de forma convincente, mas não-matemática, por Faraday. O estudo do éter suscitava certas questões cujas respostas eram obscuras, como, por exemplo, a do movimento da matéria através do éter. O famoso experimento de Michelson e Morley, na década de 1890, foi levado a cabo para resolver esse problema, e propiciou a resposta inteiramente inesperada de que simplesmente não havia maneira de determinar o movimento da matéria através do éter.

A primeira solução satisfatória para os problemas suscitados por tal experimento foi a de Lorentz; ele mostrou que se as forças que mantinham a matéria unida fossem concebidas como sendo de natureza elétrica ou ótica, de-

veríamos esperar um resultado negativo do experimento de Michelson-Morley. Contudo, Einstein, em 1905, traduziu tais idéias de Lorentz numa forma em que a impossibilidade de observar o movimento absoluto era antes um postulado da Física que o resultado de qualquer estrutura peculiar da matéria. Para os nossos propósitos, o importante é que na obra de Einstein, luz e matéria estão colocadas em base de igualdade, como haviam estado em obras anteriores a Newton, sem a subordinação newtoniana de tudo o mais à matéria e à mecânica.

Ao explicar suas concepções, Einstein faz abundante uso do observador, que pode estar em repouso ou pode estar em movimento. Na sua teoria da relatividade, é impossível introduzir o observador sem introduzir também a idéia de mensagem, e sem, de fato, reverter a ênfase da Física a um estado quase leibnitziano, cuja tendência é mais uma vez ótica. A teoria da relatividade de Einstein e a mecânica estatística de Gibbs estão em acentuado contraste; como Newton, Einstein ainda fala, fundamentalmente, em termos de uma dinâmica absolutamente rígida, sem introduzir a idéia de probabilidade. A obra de Gibbs, por outro lado, é probabilística desde o seu mesmo princípio; no entanto, as direções de ambas as obras representam uma mudança no ponto de vista da Física: o mundo conforme existe realmente é substituído, de uma outra maneira, pelo mundo conforme seja observado, e o velho realismo ingênuo da Física cede lugar a algo que poderia fazer o Bispo Berkeley sorrir deliciado.

A esta altura, será conveniente reexaminarmos certas noções respeitantes à entropia, que já foram apresentadas na introdução. Conforme dissemos, a idéia de entropia consubstancia várias das mais importantes divergências entre a mecânica gibbsiana e a mecânica newtoniana. Na concepção de Gibbs, temos uma quantidade física que, não pertencendo ao mundo externo como tal, mas a certos conjuntos de possíveis mundos exteriores, pertence, por isso, à resposta dada a certas perguntas específicas que possamos formular a respeito do mundo exterior. A Física se torna, então, não a discussão de um universo exterior, que se possa

considerar como a resposta total a tôdas as perguntas a êle concernentes, mas uma descrição das respostas dadas a perguntas muito mais limitadas. Na verdade, não estamos mais preocupados com o estudo de tôdas as possíveis mensagens que possamos enviar ou receber, mas com a teoria de mensagens enviadas ou recebidas muito mais específicas, a qual envolve a mensuração da não mais infinita quantidade de informação que nos propiciam.

As mensagens são, por si mesmas, uma forma de configuração e organização. É possível, realmente, encarar conjuntos de mensagens como se fôssem dotados de entropia, à semelhança de conjuntos de estados do mundo exterior. Assim como a entropia é uma medida de desorganização, a informação conduzida por um grupo de mensagens é uma medida de organização. Na verdade, é possível interpretar a informação conduzida por uma mensagem como sendo, essencialmente, o negativo de sua entropia e o logaritmo negativo de sua probabilidade. Vale dizer, quanto mais provável seja a mensagem, menor será a informação que propicia. Os chavões, por exemplo, são menos alumbreadores que os grandes poemas.

Já referi o interesse de Leibnitz pelos autômatos, interesse que era casualmente partilhado pelo seu contemporâneo Pascal, o qual prestou efetiva contribuição ao desenvolvimento daquilo que hoje conhecemos como máquina de somar de mesa. Leibnitz via, na concordância do tempo assinalado por relógios acertados ao mesmo tempo, o modelo para a harmonia preestabelecida de suas mônadas. Pois a técnica corporificada nos autômatos de sua época era a do relojoeiro. Consideremos a atividade das figurinhas que dançam no tampo de uma caixa de música. Movem-se de acordo com um padrão, mas trata-se de padrão estabelecido de antemão e no qual a atividade pretérita das figuras não tem praticamente nada a ver com o padrão de sua futura atividade. A probabilidade de que venham a divergir desse padrão é nula. Há uma mensagem, efetivamente, mas ela vai da maquinaria da caixa de música até as figuras, e ali se detém. As figuras propriamente ditas não têm qualquer outra comunicação com o mundo exterior que não

seja êsse estágio unidirecional de comunicação com o mecanismo preestabelecido da caixa de música. São cegas, surdas e mudas e, em sua atividade, não se podem desviar, o mínimo que seja, do padrão convencional.

Contraste-se com elas o comportamento do homem, ou então de qualquer animal moderadamente inteligente, como um gatinho. Chamo-o e êle olha para cima. Enviei-lhe uma mensagem, que êle recebeu por meio de seus órgãos sensórios e que registrou em ação. O gatinho tem fome e solta um miado lamentoso: agora, é o transmissor de uma mensagem. Êle bate com a pata num carretel balouçante. O carretel desloca-se para a sua esquerda e êle o agarra com a pata esquerda. Desta vez, mensagens de natureza assaz complicada foram transmitidas e recebidas no interior do seu sistema nervoso, através de certos nervos terminais de suas juntas, músculos e tendões; e por meio de mensagens nervosas transmitidas por êsses órgãos, êle adquire consciência da posição e das tensões atuais de seus tecidos. É somente por via dêsses órgãos que algo como uma habilidade manual se torna possível.

Contrastei o comportamento preestabelecido das figurinhas da caixa de música, de um lado, com o comportamento contingente dos seres humanos e dos animais, de outro. Não devemos, porém, supor que a caixa de música seja típica de todo comportamento mecânico.

As máquinas mais antigas e, particularmente, as tentativas mais recuadas de produzir autômatos, funcionavam, de fato, em base estritamente de mecanismo de relógio. Mas as modernas máquinas automáticas, tais como os mísseis controlados, a espôlta de proximidade, o abridor automático de portas, o aparelhamento de contrôlo de uma fábrica de produtos químicos, e o restante do moderno arsenal de máquinas automáticas que realizam funções militares ou industriais, possuem órgãos sensórios, isto é, receptores para mensagens que venham do exterior. Podem êles ser simples como as células fotoelétricas — que se alteram elêtricamente quando uma luz incide sôbre elas e que são capazes de distinguir a luz das trevas — ou tão complicados quanto um aparelho de televisão. Podem medir determi-

nada tensão pela alteração que esta produz na condutividade de um fio a ela exposto, ou podem medir a temperatura por meio de um par termoeletrico, que é um instrumento formado de dois metais diferentes, em contacto um com o outro, e através dos quais flui uma corrente quando um dos pontos de contacto seja aquecido. Cada instrumento do repertório do construtor de instrumentos científicos é um órgão sensório possível, e pode-se fazer com que registre sua marcação à distância, mercê da intervenção de aparelhamento elétrico adequado. Dessa forma, a máquina condicionada pela sua relação com o mundo exterior e pelas coisas que nêle acontecem convive e tem convivido conosco há já algum tempo.

A máquina que age sôbre o mundo exterior por meio de mensagens também nos é familiar. O abridor de portas automático fotoelétrico, conhece-o qualquer pessoa que já tenha passado pela Estação de Pensilvânia, em Nova Iorque; é usado em muitos outros edifícios, igualmente. Quando uma mensagem constituída pela interceptação de um raio de luz é enviada ao aparelho, faz funcionar a porta, abrindo-a para que o passageiro possa passar.

As etapas entre o acionamento de uma máquina dêsse tipo pelos órgãos sensórios e o seu desempenho de uma tarefa podem ser simples como no caso da porta elétrica, ou podem, realmente, ter o grau de complexidade que se deseje, dentro dos limites de nossas técnicas de engenharia. Uma ação complexa é aquela em que os dados introduzidos, (a que chamamos *entrada*) para obter um efeito sôbre o mundo exterior — efeito a que chamamos *saída* * — podem implicar um grande número de combinações. Combinações dos dados introduzidos no momento com os registros obtidos de dados anteriores armazenados, a que chamamos *memória*, e que estão registrados na máquina. As máquinas mais complicadas construídas até agora que transformam dados de entrada em dados de saída, são os computadores elétricos de alta velocidade, de que falarei de-

* No original, *input* e *output*. (N. do T.)

pois mais pormenorizadamente. A determinação do modo de conduta dessas máquinas é feita por meio de um tipo especial de entrada, que consiste freqüentemente de cartões ou fitas perfurados ou de fios magnetizados, e que determina a maneira por que a máquina irá agir em determinada operação, distinta da maneira por que poderia ter agido em outra operação. Devido ao uso freqüente de fita perfurada ou magnética no controle, os dados que são introduzidos, e que indicam o modo de operação dessas máquinas de combinar informações, são chamados *taping*.*

Já disse que o homem e o animal têm uma sensibilidade cinestésica, por meio da qual mantêm um registro da posição e tensões de seus músculos. [Para que qualquer máquina sujeita a um meio externo variado possa atuar de maneira efetiva é necessário que a informação concernente aos resultados de sua própria ação lhe sejam fornecidos como parte da informação com base na qual ela deve continuar a atual. Por exemplo, se estivermos manejando um elevador, não basta abrir a porta externa porque as ordens que tenhamos dado devam fazer o elevador estar diante dessa porta no momento em que a abrimos. É importante que o desengate para a abertura da porta dependa do fato de que o elevador se encontre realmente diante da porta; de outra maneira, algo poderia tê-lo detido e o passageiro despencaria no poço vazio. Tal controle da máquina com base no seu desempenho efetivo em vez de no seu desempenho esperado é conhecido como realimentação (feedback) e envolve membros sensórios que são acionados por membros motores e desempenham a função de detectores ou monitores — isto é, de elementos que indicam um desempenho. A função desses mecanismos é a de controlar a tendência mecânica para a desorganização; em outras palavras, de produzir uma inversão temporária e local da direção normal da entropia.

Acabei de mencionar o elevador como exemplo de realimentação. Há outros casos em que a importância da reali-

* De *tape*, fita. (N. do T.)

mentação se torna ainda mais patente. Por exemplo, um apontador de artilharia obtém a informação de seu instrumento de observação e a transmite ao canhão, de modo que este aponte numa direção tal que o projétil atravesse o alvo móvel a certo momento. Ora, o canhão tem de ser usado em todas as condições atmosféricas. Em algumas delas, a graxa estará quente e ele voltará fácil e rapidamente. Em outras condições, a graxa estará congelada ou misturada com areia e ele responderá morosamente às ordens que lhe forem dadas. Se tais ordens forem reforçadas por um impulso adicional, quando o canhão deixe de responder prontamente às ordens e se retarde, então o erro do apontador será reduzido. Para obter um desempenho tão uniforme quanto possível, costuma-se instalar um controle de realimentação, que registra o retardamento do canhão em relação à posição em que deveria estar, de acordo com as ordens dadas, e que usa tal diferença para dar-lhe um impulso adicional.

É certo que se devem tomar precauções para que o impulso não seja excessivo, pois, nesse caso, a arma se deslocará para além da posição adequada, e terá de ser trazida de volta numa série de oscilações que bem podem tornar-se cada vez maiores e ocasionar desastrosa instabilidade. Se o próprio sistema de realimentação for controlado — se, por outras palavras, suas próprias tendências entrópicas forem contidas por outros mecanismos de controle — e mantido dentro de limites suficientemente estritos, isso não ocorrerá, e a existência da realimentação aumentará a estabilidade de desempenho da arma. Por outras palavras, o desempenho se tornará menos dependente da resistência de atrito, ou, o que vem a dar no mesmo, do retardamento ocasionado pela rigidez da graxa.

Algo de muito semelhante ocorre na ação humana. Quando apanho meu charuto do chão, não quero mover quaisquer músculos específicos. Na verdade, em muitos casos, nem sei quais são tais músculos. O que faço é converter em ação certo mecanismo de realimentação, isto é, um reflexo no qual a distância pela qual deixei até aqui de apanhar o charuto é convertida numa nova ordem, mais in-

tensa, aos músculos retardados, quaisquer que eles possam ser. Dessa maneira, um comando voluntário assaz uniforme possibilitará que a mesma tarefa seja executada a partir de posições iniciais grandemente variadas, e independentemente do decréscimo de contração devido à fadiga dos músculos. De modo similar, quando guio um carro, não obedeco a uma série de comandos dependentes apenas de uma imagem mental da estrada e da tarefa que estou executando. A verificação de que o carro se está desviando demais para a direita faz com que eu o desloque para esquerda. Isso depende do desempenho efetivo do carro, e não simplesmente da estrada, e me capacita a guiar, com quase a mesma eficiência, um Austin leve e um caminhão pesado, sem que me seja preciso formar hábitos separados para guiar um ou outro. Terei mais a dizer acêrca dêste ponto no capítulo dedicado a máquinas especiais, no qual discutiremos o benefício que a Neuropatologia poderá tirar do estudo das máquinas com defeitos de desempenho semelhantes àqueles que ocorrem no mecanismo humano.

A minha tese é a de que o funcionamento físico do indivíduo vivo e o de algumas das máquinas de comunicação mais recentes são exatamente paralelos no esforço análogo de dominar a entropia através da realimentação. Ambos têm receptores sensórios como um estágio de seu ciclo de funcionamento, vale dizer, em ambos existe um instrumento especial para coligir informação do mundo exterior, a baixos níveis de energia, e torná-la acessível na operação do indivíduo ou da máquina. Em ambos os casos, tais mensagens externas não são acolhidas em estado *puro*, mas por via dos poderes internos de transformação do aparelho, seja êle animado ou inanimado. A informação adquire, então, uma nova forma, adequada para os futuros estágios de desempenho. Tanto no animal quanto na máquina, o desempenho se faz efetivo no mundo exterior. Em ambos, a ação *realizada* no mundo exterior, e não apenas a ação *intentada*, é comunicada ao instrumento regulador central. Esse complexo de comportamento é ignorado pelo homem comum e, particularmente, não desempenha o papel que deveria desempenhar em nossas análises habituais da sociedade; pois

assim como as respostas físicas individuais podem ser encaradas dêste ponto de vista, assim também o podem ser as respostas orgânicas da própria sociedade. Não quero dizer que o sociólogo desconheça a existência e a natureza complexa das comunicações na sociedade; até recentemente, porém, tendia êle a descurar o fato de que são elas que cimentam a estrutura da sociedade.

Vimos, neste capítulo, a unidade fundamental de um complexo de idéias que, até há pouco, não haviam sido suficientemente associadas entre si. Tais idéias são a concepção contingente da Física, introduzida por Gibbs como uma modificação das convenções tradicionais, newtonianas, da atitude agostiniana, voltada para a ordem e a conduta, que é exigida por esta concepção, e a teoria da mensagem entre homens e máquinas, e na sociedade, como uma seqüência temporal de eventos que, embora tenha em si mesma uma certa contingência, forceja por conter a tendência da Natureza para a desordem, mercê do ajuste de suas partes a vários fins intencionais.