

Reunidos nesta obra estão os escritos de Ludwig von Bertalanffy sobre a teoria geral dos sistemas, selecionados e editados para mostrar a evolução da teoria dos sistemas e apresentar suas aplicações para resolver problemas. Na tentativa de formular leis gerais que pudessem ser aplicadas a cada um dos campos das ciências, essa abordagem teve grande impacto em diversificadas disciplinas como Biologia, Economia, Psicologia e Demografia.

Ao oferecer uma visão panorâmica de uma criação que influenciou definitivamente nossa época, esta obra torna-se essencial para todos aqueles que precisam aprofundar os estudos da "ciência dos sistemas": a ciência que revolucionou a Administração e o planejamento na área do governo, nos negócios, na indústria e na solução dos problemas humanos.

www.vozes.com.br

 EDITORA
VOZES

Uma vida pelo bom livro

vendas@vozes.com.br

ISBN 978-85-326-3690-4



9 788532 636904

Ludwig von Bertalanffy

Teoria Geral dos Sistemas

Fundamentos, desenvolvimento e aplicações

N.Cham. 003 B536t 5. ed.

Autor: Bertalanffy, Ludwig von, 1901-1

Título: Teoria geral dos sistemas :



413433

Ac. 185852

Ex.2 UFPA BC

 EDITORA
VOZES

A ideia de uma "teoria geral dos sistemas" parece ter sido pela primeira vez introduzida por *Ludwig von Bertalanffy*, antes mesmo da consolidação da cibernética, da engenharia dos sistemas e do surgimento dos campos afins.

Entretanto, só recentemente se tornou evidente a necessidade e a viabilidade da abordagem dos sistemas. A necessidade resultou do fato de o esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes ter se mostrado insuficiente para atender aos problemas teóricos, especialmente nas ciências biossociais, e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. A viabilidade resultou de várias novas criações – teóricas, epistemológicas, matemáticas, etc. – que, embora ainda no começo, tornaram progressivamente realizável o enfoque dos sistemas.

O autor deste livro, na década de 1920, ficou intrigado com as evidentes lacunas existentes na pesquisa e na teoria da biologia. O enfoque mecanicista então predominante parecia desprezar ou negar exatamente aquilo que é essencial nos fenômenos da vida.

Teoria geral dos sistemas

Data:	05 / 03 20 12
TR:	RT/2010
N. F.:	551
FORNECEDOR:	M. A. PONTES
R\$	47,42



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Bertalanffy, Ludwig von, 1901-1972.

Teoria geral dos sistemas : fundamentos,
desenvolvimento e aplicações / Ludwig von
Bertalanffy ; tradução de Francisco M. Guimarães. –
5. ed. – Petrópolis, RJ : Vozes, 2010.

Título original: General system theory :
foundations, development, applications.

Bibliografia.

ISBN 978-85-326-3690-4

1. Ciência – Filosofia 2. Ciência – Metodologia
3. Conhecimento – Teoria 4. Sistemas biológicos
5. Teoria dos sistemas I. Título.

08-03917

CDD-003

Índices para catálogo sistemático:

1. Teoria dos sistemas 003

Ludwig von Bertalanffy

Teoria geral dos sistemas

Fundamentos, desenvolvimento e aplicações

Tradução de Francisco M. Guimarães



EDITORA
VOZES

Petrópolis

© 1968 by Ludwig von Bertalanffy
2ª edição revista, 2006

Título original inglês: *General System Theory – Foundations, Development, Applications*

Direitos de publicação em língua portuguesa:
2008, Editora Vozes Ltda.
Rua Frei Luís, 100
25689-900 Petrópolis, RJ
Internet: <http://www.vozes.com.br>
Brasil

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma e/ou quaisquer meios (eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e gravação) ou arquivada em qualquer sistema ou banco de dados sem permissão escrita da Editora.

Diretor editorial
Frei Antônio Moser

Editores
Aline dos Santos Carneiro
José Maria da Silva
Lídio Peretti
Marilac Loraine Oleniki

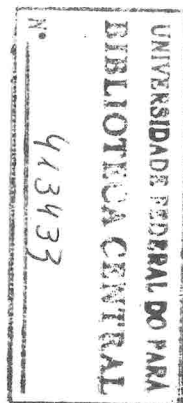
Secretário executivo
João Batista Kreuch

Editoração: Maria da Conceição Borba de Sousa
Projeto gráfico: AG.SR Desenv. Gráfico
Capa: Bruno Margiotta

ISBN 978-85-326-3690-4 (edição brasileira)
ISBN 978-0-8076-0453-3 (edição americana)

Editado conforme o novo acordo ortográfico.

Este livro foi composto e impresso pela Editora Vozes Ltda.
Rua Frei Luís, 100 – Petrópolis, RJ – Brasil – CEP 25689-900
Caixa Postal 90023 – Tel.: (24) 2233-9000
Fax: (24) 2231-4676



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA
BIBLIOTECA CENTRAL

*Manibus Nicolai de Cusa
Cardinalis, Gottfriedi Guglielmi
Leibnitii, Joannis Wolfgangi de
Goethe Aldique Huxleyi, necnon de
Bertalanffy Pauli, S.J.,
antecessoris, cosmographi.*

Sumário

Agradecimentos, 9

Prefácio da edição revista, 11

1. Introdução, 21

2. O significado da teoria geral dos sistemas, 54

3. Alguns conceitos dos sistemas considerados em termos matemáticos elementares, 82

4. Os progressos realizados na teoria geral dos sistemas, 125

5. O organismo considerado como sistema físico, 161

6. O modelo do sistema aberto, 183

7. Alguns aspectos da teoria dos sistemas em biologia, 201

8. O conceito de sistema nas ciências do homem, 238

9. A teoria geral dos sistemas em psicologia e psiquiatria, 261

10. A relatividade das categorias, 281

Apêndice I – Observações sobre desenvolvimentos na teoria matemática dos sistemas, 314

Apêndice II – O significado e a unidade da ciência, 321

Bibliografia, 325

Sugestões de leitura complementar, 353

Índice, 358

1

Introdução

Os sistemas estão em toda parte

Se alguém se dispusesse a analisar as noções correntes e os *slogans* em moda encontraria bem no alto da lista a palavra “sistemas”. Este conceito invadiu todos os campos da ciência e penetrou no pensamento popular, na gíria e nos meios de comunicação de massa. O pensamento em termos de sistemas desempenha um papel dominante em uma ampla série de campos, que vão das empresas industriais e dos armamentos até tópicos esotéricos da ciência pura, sendo-lhe dedicadas inumeráveis publicações, conferências, simpósios e cursos. Apareceram nos últimos anos profissões e empregos desconhecidos até pouco tempo atrás, tendo os nomes de projeto de sistemas, análise de sistemas, engenharia de sistemas e outros. São o verdadeiro núcleo de uma nova tecnologia e tecnocracia. Seus executantes são os “novos utopistas” de nosso tempo (BOGUSLAW, 1965), que – em contraste com a raça clássica cujas ideias permaneciam entre as capas dos livros – estão em ação criando um mundo novo, admirável ou não.

São complexas as raízes desta evolução. Um de seus aspectos é a passagem da engenharia de produção de energia – isto é, libertação de grandes quantidades de energia tal como acontece nas máquinas a vapor ou elétricas – para a engenharia de controle, que dirige processos empregando dispositivos de baixa potência e conduziu aos computadores e à automação. Apareceram máquinas autocontroladas, desde o humilde termostato doméstico até os mísseis autoguiados da Segunda Guerra Mundial e os mísseis imensamente aperfeiçoados de nossos dias. A tecnologia foi levada a

pensar não em termos de máquinas isoladas, mas em termos de “sistemas”. Uma máquina a vapor, um automóvel ou um receptor de rádio achavam-se dentro da competência do engenheiro treinado na respectiva especialidade. Mas quando se chega aos mísseis balísticos ou aos veículos espaciais, estes engenhos têm de ser constituídos pela reunião de componentes originados em tecnologias heterogêneas, mecânicas, eletrônicas, químicas, etc. As relações entre o homem e a máquina passam a ter importância e entram também em jogo inumeráveis problemas financeiros, econômicos, sociais e políticos. Ainda mais, o tráfego aéreo ou mesmo o de automóvel já não é mais uma questão de número de veículos em operação, mas formam sistemas que devem ser planejados ou organizados. Assim, são numerosos os problemas que estão surgindo na produção, no comércio e nos armamentos.

Deste modo, tornou-se necessário um “enfoque sistêmico”. Suponhamos que seja dado um certo objetivo. A descoberta dos meios e modos que levem à sua realização requer um especialista de sistemas (ou uma equipe de especialistas), para examinar as soluções possíveis e escolher as que prometem ter caráter ótimo com a máxima eficiência e o mínimo custo numa rede tremendamente complexa de interações. Isto exige técnicas complicadas e computadores para resolverem problemas que transcendem de muito a capacidade de qualquer matemático individual. Tanto os equipamentos (*hardware*) dos computadores, da automação e da cibernética quanto os “programas” (*software*) da ciência dos sistemas representam uma nova tecnologia. Tem sido chamada a Segunda Revolução Industrial, que se vem desenvolvendo apenas há poucos decênios.

Estes acontecimentos não se limitaram ao complexo industrial-militar. Os políticos frequentemente reclamam a aplicação do “enfoque sistêmico” a problemas urgentes, tais como a poluição do ar e da água, o congestionamento do trânsito, a bruma urbana, a delinquência juvenil e o crime organizado, o planejamento das cidades (WOLFE, 1967), etc., designando isto um “novo conceito revolucionário” (CARTER, 1966; BOFFEY, 1967). Um primeiro-ministro canadense (MANNING, 1967) incluiu a abordagem por meio de sistemas em sua plataforma política, dizendo que

existe uma relação entre todos os elementos e constituintes da sociedade. Os fatores essenciais dos problemas públicos, das questões e programas a adotar devem sempre ser considerados e avaliados como componentes interdependentes de um sistema total.

Esta evolução seria simplesmente mais uma das múltiplas facetas da modificação que se passa em nossa sociedade tecnológica contemporânea se não fosse a existência de um importante fator que pode não ser devidamente compreendido pelas técnicas altamente complicadas e necessariamente especializadas da ciência dos computadores, da engenharia dos sistemas e campos relacionados com estas últimas. Não é apenas a tendência da tecnologia de fazer as coisas maiores e melhores (ou, no caso oposto, mais lucrativas, destruidoras, ou ambas). Trata-se de uma transformação nas categorias básicas de pensamento da qual as complexidades da moderna tecnologia são apenas uma – e possivelmente não a mais importante – manifestação. De uma maneira ou de outra, somos forçados a tratar com complexos, com “totalidades” ou “sistemas” em todos os campos de conhecimento. Isto implica uma fundamental reorientação do pensamento científico.

É inexequível fazer a tentativa de resumir o impacto dos “sistemas” e implicaria em uma antecipação das considerações deste livro. Alguns poucos exemplos, escolhidos mais ou menos arbitrariamente, bastam para esboçar a natureza do problema e a conseqüente reorientação. O leitor deverá desculpar um traço egocêntrico nestas citações, tendo em vista o fato de que a finalidade deste livro consiste em apresentar o ponto de vista do autor e não uma análise neutra do assunto.

Em física, sabe-se bem que os enormes progressos realizados nas últimas décadas engendraram também novos problemas – ou possivelmente uma nova espécie de problemas – que evidenciam melhor aos leigos no número indefinido de centenas de partículas elementares das quais a física atualmente não pode dar explicações nem razões. Conforme disse um conhecido representante dessa ciência (DE-SHALIT, 1966), o progresso ulterior da física

nuclear “exige muito trabalho experimental, assim como a criação de novos e poderosos métodos para o tratamento de sistemas com muitas, mas não infinitamente muitas, partículas”. A mesma exigência foi expressa por A. Szent-Györgyi (1964), o grande fisiologista, de um modo extravagante:

[Quando entrei para o *Institute for Advanced Study* em Princeton] tomei esta decisão na esperança de que esfregando os cotovelos nesses grandes físicos e matemáticos atômicos aprenderia alguma coisa a respeito da matéria viva. Mas, logo assim que revelei que em qualquer sistema vivo existem mais de dois elétrons, os físicos não quiseram mais falar comigo. Com todos os seus computadores não sabiam dizer o que o terceiro elétron poderia fazer. O que há de notável no caso é que o elétron sabe exatamente o que tem de fazer. Assim, esse pequeno elétron conhece uma coisa que todos os sábios de Princeton ignoram, e que só pode ser uma coisa muito simples.

Bernal (1957), há alguns anos atrás, formulou da seguinte maneira os problemas ainda sem solução:

Ninguém que conheça as dificuldades agora existentes acredita que a crise da física tenha a probabilidade de ser resolvida por algum simples truque ou modificação das atuais teorias. Exige-se algo radical, que terá de ir muito além da física. Está sendo forjada uma nova compreensão do mundo, mas será exigida muita experiência e argumentação antes de chegar a uma forma definitiva. Terá de ser coerente, de incluir e esclarecer o novo conhecimento das partículas fundamentais e de seus campos complexos, de resolver os paradoxos de onda e partícula, terá de tornar igualmente inteligíveis o mundo interior do átomo e os amplos espaços do universo. Deverá ter dimensões diferentes de todas as anteriores concepções do mundo e incluir em si a explicação do desenvolvimento e da origem de novas coisas. Neste sentido terá naturalmente de alinhar-se com as tendências convergentes das ciências biológicas e sociais, nas quais um modelo regular se entrosa com a história de sua evolução.

Nos últimos anos o triunfo da biologia molecular, o “fracionamento” do código genético, as consecutivas realizações na genética, na evolução, em medicina, fisiologia celular e muitos outros campos tornaram-se conhecimento comum. Mas, a despeito de – ou justamente por causa de – uma percepção aprofundada conseguida pela biologia “molecular”, tornou-se visível a neces-

sidade de uma biologia “organísmica”¹, conforme o autor vem advogando há mais de quarenta anos. A biologia não tem de ocupar-se apenas com o nível físico-químico ou molecular, mas também com os níveis mais elevados de organização da matéria viva. Como teremos ocasião de discutir em seguida, tem sido estabelecida com renovada intensidade a exigência de considerar estes aspectos nos fatos e no conhecimento recentes. Mas não foi acrescentada nenhuma argumentação que já não tivesse sido anteriormente discutida (VON BERTALANFFY, 1928a, 1932, 1949a, 1960).

Assim, a concepção básica em psicologia costumava ser o “modelo robô”. O comportamento tinha de ser explicado pelo esquema mecanicista estímulo-resposta (E-R). O condicionamento, de acordo com o padrão das experiências em animais, era julgado ser o fundamento do comportamento humano. O “significado” devia ser substituído pela resposta condicionada e a especificidade do comportamento humano devia ser negada, etc. A psicologia da Gestalt fez uma primeira invasão no esquema mecanicista há cerca de cinquenta anos atrás. Mais recentemente foram feitas muitas tentativas no sentido de se obter uma “imagem do homem” mais satisfatória e o conceito de sistema vem ganhando importância (capítulo 8). Piaget, por exemplo, “relaciona expressamente suas concepções com a teoria de Bertalanffy sobre os sistemas gerais” (HAHN, 1967).

Talvez ainda mais do que a psicologia, a psiquiatria assumiu o ponto de vista dos sistemas (por exemplo *Menninger*, 1963; von BERTALANFFY, 1966; GRINKER, 1967; GRAY e col.). Menciono aqui as palavras de Grinker:

Entre as chamadas teorias globais aquela que foi inicialmente enunciada e definida por Bertalanffy em 1947 sob o título de “Teoria geral dos sistemas” conseguiu manter-se... Desde en-

1. Conservamos na tradução o neologismo “organísmico” para indicar que se trata de uma especial intenção do autor, explicada pelo contexto. Nesta primeira ocorrência a palavra aparece entre aspas, mas nas seguintes vem exposta sem este expediente. A palavra “orgânico”, que em português serve de adjetivo tanto a “órgão” quanto a “organismo”, não expressaria o que o autor pretende dizer (N.T.).

tão aquele autor requintou, modificou e aplicou seus conceitos, criou uma sociedade para difundir a teoria geral dos sistemas e publicou *General Systems Yearbook*. Muitos cientistas sociais, mas apenas alguns poucos psiquiatras estudaram, compreenderam ou aplicaram a teoria dos sistemas. De repente, sob a direção do Dr. William Gray, de Boston, foi alcançado um limiar, de modo que na 122ª reunião anual da American Psychiatric Association em 1966 foram realizadas duas sessões nas quais se discutiu esta teoria, ficando estabelecidos encontros regulares de psiquiatras para a futura participação no desenvolvimento desta "Teoria Unificada do Comportamento Humano". Se tiver de haver uma terceira revolução (isto é, depois da psicanalítica e da behaviorista), esta será a do desenvolvimento de uma teoria geral (p. ix).

O informe de uma recente reunião (American Psychiatric Association, 1967) traça uma sugestiva imagem:

Quando uma sala com 1.500 pessoas está tão apinhada que centenas ficam de pé durante toda uma sessão matinal, o assunto deve ser de tal natureza que desperte agudo interesse no público. Tal era a situação no simpósio sobre o uso de uma teoria geral dos sistemas em psiquiatria, que teve lugar na reunião realizada em Detroit pela American Psychiatric Association (DAMUDE, 1967).

O mesmo acontece nas ciências sociais. Uma única conclusão segura pode tirar-se do largo espectro, da espalhada confusão e das contradições das teorias sociológicas contemporâneas (SOROKIN, 1928, 1966), a saber, que os fenômenos sociais devem ser considerados como "sistemas", por mais difíceis e mal estabelecidas que sejam atualmente as definições das entidades socioculturais. Existe

uma perspectiva científica revolucionária (derivada) do movimento de Pesquisa de Sistemas Gerais e (com uma) riqueza de princípios, ideias e concepções que já trouxeram um alto grau de ordem e de compreensão científicas a muitas áreas da biologia, psicologia e algumas ciências físicas... A moderna pesquisa dos sistemas pode fornecer a base de uma estrutura mais capaz de fazer justiça às complexidades e propriedades dinâmicas do sistema sociocultural (BUCKLEY, 1967).

O curso dos acontecimentos em nossa época sugere uma concepção semelhante na história, inclusive levando-se em conta que, afinal, a história é a sociologia em ação ou em um estudo "longitudinal". São as mesmas as entidades socioculturais que

a sociologia investiga em seu estado atual e a história em seu movimento.

Os primeiros períodos da história podem ter-se consolado acusando de atrocidades e estupidez os maus reis, os nefandos ditadores, a ignorância, a superstição, as carências materiais e fatores semelhantes. Em consequência, a história tinha o caráter de "quem fez isto", "idiográfico", como era tecnicamente chamado. Assim, a Guerra dos Trinta Anos foi consequência da superstição religiosa e das rivalidades dos príncipes alemães. Napoleão subverteu a Europa por causa de sua desenfreada ambição, a Segunda Guerra Mundial pode ser atribuída à maldade de Hitler e às tendências guerreiras dos alemães.

Perdemos este conforto intelectual. Num estado de democracia, educação universal e abundância geral estas desculpas anteriores para a atrocidade humana fracassam miseravelmente. Contemplando a história contemporânea no próprio ato de se desenrolar, é difícil atribuir o que nela há de irracionalidade e bestialidade unicamente aos indivíduos (a não ser concedendo-lhes uma capacidade sobre-humana – ou subumana – de malícia e estupidez). Ao contrário, parece que somos vítimas de "forças históricas", qualquer que seja o significado deste termo. Os acontecimentos parecem implicar mais do que unicamente as decisões e ações individuais, sendo determinados mais por "sistemas" socioculturais, quer sejam preconceitos, ideologias, grupos de pressão, tendências sociais, crescimento e declínio de civilizações ou seja lá o que for. Conhecemos precisa e cientificamente quais vão ser os efeitos da poluição, da devastação dos recursos naturais, da explosão populacional, da corrida armamentista, etc. Todos os dias um incontável número de críticos dizem-nos isto, citando argumentos irrefutáveis. Mas nem os dirigentes nacionais nem a sociedade em totalidade parecem ser capazes de fazer alguma coisa a respeito desta situação. Se não aceitarmos uma explicação teísta – Quem Deus *perdere vult dementat* – parece que seguimos uma trágica necessidade histórica.

Embora compreendendo a vagueza de conceitos tais como civilização e as deficiências das “grandes teorias” do tipo das de Spengler e Toynbee, a questão das regularidades ou das leis dos sistemas socioculturais é dotada de sentido, embora não signifique necessariamente inevitabilidade histórica, de acordo com Sir Isaiah Berlin. Um panorama histórico como o livro de McNeill, *The Rise of the West* (1963), que já no título indica sua posição antispengleriana, é contudo uma história dos sistemas históricos. Esta concepção penetra em campos aparentemente situados fora dela, e é assim que já se disse que a “escola arqueológica do processo” “tirou o embrião de seu desenvolvimento da concepção de Ludwig von Bertalanffy, segundo a qual os sistemas desencadeiam o comportamento em conjunturas críticas e, uma vez isso acontecido, não podem mais voltar à sua condição original” (FLANNERY, 1967).

Embora a sociologia (e presumivelmente a história) trate de organizações informais, outro recente desenvolvimento foi a teoria das organizações formais, isto é, estruturas planejadas, tais como um exército, a burocracia, uma empresa comercial, etc. Esta teoria é “moldada em uma filosofia que adota a premissa de que a única maneira inteligível de estudar uma organização é estudá-la como sistema”, uma vez que a análise dos sistemas trata “a organização como um sistema de variáveis mutuamente dependentes”. Por conseguinte, “a teoria moderna das organizações conduz quase inevitavelmente à discussão da teoria geral dos sistemas” (SCOTT, 1963). Conforme as palavras de um profissional da pesquisa operacional,

Nas últimas duas décadas assistimos à emergência do “sistema” como conceito-chave na pesquisa científica. Evidentemente, os sistemas já eram estudados há séculos, mas algo novo foi agora acrescentado... A tendência a estudar os sistemas como uma entidade e não como um aglomerado de partes está de acordo com a tendência da ciência contemporânea que não isola mais os fenômenos em contextos estreitamente confinados, mas abre-se ao exame das interações e investiga setores da natureza cada vez maiores. Sob a égide da pesquisa dos sistemas (e seus numerosos sinônimos) assistimos também à convergência de muitas criações mais especializadas da ciência contemporânea... Esta pesquisa prossegue e muitas

outras estão sendo entrelaçadas em um esforço conjunto de investigação, que envolve um espectro cada vez mais amplo de disciplinas científicas e tecnológicas. Estamos participando do que é provavelmente o mais amplo esforço para chegar a uma síntese do conhecimento científico como jamais foi feita (ACKOFF, 1959).

Desta maneira, fecha-se o círculo e voltamos às realizações da sociedade tecnológica contemporânea de que tínhamos partido. Dessas considerações – embora apenas esboçadas e superficiais – emerge a noção de que na gama das ciências e da vida moderna exigem-se novas conceitualizações, novas ideias e categorias, e que estas, de uma maneira ou de outra, estão centralizadas no conceito de “sistema”. Citemos, para variar, um autor soviético:

A elaboração de métodos específicos para a investigação dos sistemas é a tendência geral do conhecimento científico atual, assim como para a ciência do século XIX era característica a concentração primordial da atenção na elaboração de formas e processos elementares na natureza (LEWADA, apud HAHN, 1967, p. 185).

Os perigos desta nova criação infelizmente são evidentes e já foram muitas vezes enunciados. O novo mundo cibernético, de acordo com o psiquiatra Ruesch (1967), não se refere a pessoas, mas a “sistemas”. O homem torna-se substituível e consumível. Para os novos utopistas da engenharia dos sistemas, usando uma frase de Boguslaw (1965), é o “elemento humano” que se revela ser precisamente o componente falível de suas criações. Este elemento ou tem de ser eliminado de todo e substituído pelos equipamentos dos computadores, pela maquinaria autorregulável e coisas semelhantes, ou tem de ser tornado tão digno de confiança quanto possível, isto é, mecanizado, conformista, controlado e padronizado. Em termos mais ásperos, o homem no grande sistema tem de ser – e em larga extensão já é – um débil mental, um idiota amestrado ou dirigido por botões, isto é, altamente treinado em alguma estreita especialização ou então tem de ser simples parte da máquina. Isto está de acordo com um princípio bem conhecido dos sistemas, o da progressiva mecanização, na qual o indivíduo se torna cada vez mais uma roda dentada dominado por uns poucos líderes privilegiados, mediocridades e mistifica-

dores que só têm em vista seus interesses privados sob a cortina de fumaça das ideologias (SOROKIN, 1966, p. 558s).

Quer consideremos a expansão positiva do conhecimento e o controle benéfico do ambiente e da sociedade, quer vejamos no movimento dos sistemas o advento do *Brave new world* e do 1984, o fato é que este movimento merece intenso estudo e temos de aceitá-lo.

História da teoria dos sistemas

Como vimos, há acordo em todos os principais campos – da física subatômica à história – sobre a necessidade da reorientação da ciência. As realizações da tecnologia moderna reforçam esta tendência.

Tanto quanto é possível saber, a ideia de uma “teoria geral dos sistemas” foi pela primeira vez introduzida por este autor, anteriormente à cibernética, à engenharia dos sistemas e ao surgimento de campos afins. A história da maneira pela qual foi conduzida a esta noção acha-se narrada resumidamente em outro lugar deste livro (p. 125ss), mas parece conveniente fazer-se uma certa ampliação tendo em vista as recentes discussões.

Tal como se dá com qualquer nova ideia na ciência ou em outra atividade, o conceito de sistema tem uma longa história. Embora o termo “sistema” propriamente não tivesse sido empregado, a história deste conceito inclui muitos nomes ilustres. Sob a designação de “filosofia natural”, podemos fazê-lo remontar a Leibniz, a Nicolau de Cusa, com sua coincidência dos opostos, à medicina mística de Paracelso, à visão da história de Vico e Ibn-Kaldun, considerada como uma série de entidades ou “sistemas” culturais, à dialética de Marx e Hegel, para não mencionar mais do que alguns poucos nomes dentre uma rica panóplia de pensadores. O apreciador de literatura pode lembrar o *De ludo globi* de Nicolau de Cusa (1463; cf. VON BERTALANFFY, 1928b) e o *Glasperlenspiel* de Hermann Hesse, ambos vendo a construção do mundo refletida em um jogo abstrato habilmente planejado.

Houve algumas obras preliminares no campo da teoria geral dos sistemas. As *Gestalten físicas* de Köhler (1924) indicavam esta direção, mas não trataram do problema em toda a sua generalidade, limitando-se às *Gestalten* em física (e nos fenômenos biológicos e psicológicos presumivelmente interpretáveis nesta base). Em uma publicação posterior (1927), Köhler levantou o postulado de uma teoria dos sistemas destinada a elaborar as propriedades mais gerais dos sistemas inorgânicos comparadas às dos sistemas orgânicos. Até certo ponto esta exigência foi satisfeita pela teoria dos sistemas abertos. A obra clássica de Lotka (1925) foi a que mais se aproximou do objetivo e por isso devemos-lhe algumas formulações básicas. De fato, Lotka tratou do conceito geral de sistemas (não tendo se restringido, como Köhler, aos sistemas da física). Sendo um estatístico, porém, interessado nos problemas da população mais do que nos problemas biológicos do organismo individual, Lotka, de modo um tanto estranho, concebeu as comunidades como sistemas, ao mesmo tempo em que considerava o organismo individual como uma soma de células.

Entretanto, só recentemente se tornou visível a necessidade e a exequibilidade da abordagem dos sistemas. A necessidade resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes terem se mostrado insuficientes para atender aos problemas teóricos, especialmente nas ciências biosociais, e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. A viabilidade resultou de várias novas criações – teóricas, epistemológicas, matemáticas, etc. – que, embora ainda no começo, tornaram progressivamente realizável o enfoque dos sistemas.

O autor deste livro, na década de 1920, ficou intrigado com as evidentes lacunas existentes na pesquisa e na teoria da biologia. O enfoque mecanicista então prevalecente, que acabamos de mencionar, parecia desprezar ou negar de todo exatamente aquilo que é essencial nos fenômenos da vida. O autor advogava uma concepção organísmica na biologia, que acentuasse a consideração do organismo como totalidade ou sistema e visse o principal objetivo das ciências biológicas na descoberta dos princípios de

organização em seus vários níveis. Os primeiros enunciados do autor datam de 1925-1926, ao passo que a filosofia do “mecanicismo orgânico” de Whitehead foi publicada em 1925. O trabalho de Cannon sobre a homeostase apareceu em 1929 e 1932. A concepção organísmica teve como grande precursor Claude Bernard, mas sua obra era pouco conhecida fora da França, e mesmo agora ainda espera sua completa valorização (cf. BERNAL, 1957, p. 960). O aparecimento simultâneo de ideias semelhantes independentemente umas das outras e em diferentes continentes era um sintomático indício de uma nova tendência que necessitaria, porém, de tempo para chegar a ser aceita.

Estas observações são suscitadas pelo fato de que nos últimos anos a “biologia organísmica” foi reacentuada por importantes biólogos americanos (DUBOS, 1964, 1967; DOBZHANSKY, 1966; COMMONER, 1961), os quais porém não mencionam o trabalho muito antigo do presente autor, embora seja reconhecido na literatura da Europa e dos países socialistas (por exemplo, UNGERER, 1966; BLANDINO, 1960; TRIBINO, 1946; KANAIEV, 1966; KAMARYT, 1961, 1963; BENDMANN, 1963, 1967; AFANASJEW, 1962). Pode-se declarar com certeza que as recentes discussões do assunto (por exemplo, NAGEL, 1961; HEMPEL, 1965, BECKNER, 1959; SMITH, 1966; SCHAFFNER, 1967), embora referindo-se naturalmente aos progressos da biologia nos últimos quarenta anos, não acrescentaram qualquer ponto de vista novo ao que tinha sido feito pelo trabalho deste autor.

Em filosofia, o autor foi educado na tradição do neopositivismo do grupo de Moritz Schlick, que veio a ser conhecido mais tarde como Círculo de Viena. Evidentemente, porém, o interesse do autor no misticismo alemão, no relativismo histórico de Spengler, na história da arte e outras atitudes não ortodoxas tornaram impossível vir a ser um bom positivista. Mais fortes eram suas ligações com o grupo de Berlim da “Sociedade de Filosofia Empírica” existente na década de 1920, na qual tinha papel proeminente o filósofo e físico Hans Reichenbach, o psicólogo A. Herzberg, o engenheiro Parseval (inventor da aeronave dirigível).

Em conexão com o trabalho experimental sobre o metabolismo e o crescimento, de um lado, e o esforço para concretizar o programa organísmico, de outro, a teoria dos sistemas abertos foi proposta, baseada no fato bastante trivial de que o organismo é um sistema aberto, embora na época não existisse nenhuma teoria desse tipo. A primeira apresentação, que se seguiu a alguns ensaios de experiência, acha-se incluída neste volume (capítulo 5). A biofísica parecia assim exigir uma expansão da teoria física convencional no sentido da generalização dos princípios cinéticos e da teoria termodinâmica, sendo esta última conhecida mais tarde como termodinâmica irreversível.

Nessa ocasião, porém, apareceu uma outra generalização. Em muitos fenômenos biológicos e também nas ciências sociais e do comportamento são aplicáveis os modelos e as expressões matemáticas. Estes, evidentemente, não se incluem entre as entidades da física e da química e nesse sentido transcendem a física como paradigma da “ciência exata” (digamos de passagem que a série *Abhandlungen zur exakten Biologie* depois dos anteriores *Abhandlungen zur theoretischen Biologie* de Schaxel foi inaugurada pelo autor, mas teve de ser suspensa durante a guerra). Tornou-se aparente a semelhança estrutural desses modelos e seu isomorfismo em diferentes campos, e justamente revelaram-se centrais os problemas de ordem, organização, totalidade, teleologia, etc., que eram excluídos dos programas da ciência mecanicista. Esta foi, portanto, a ideia da “teoria geral dos sistemas”.

A época não era favorável para esta realização. A biologia era interpretada como idêntica ao trabalho de laboratório e o autor esteve em apuros quando publicou *Theoretische Biologie* (1932), outro campo que só recentemente tornou-se academicamente respeitável. Hoje em dia, quando há numerosas revistas e publicações dedicadas a essa disciplina e a construção de modelos tornou-se um esporte caseiro de moda e generosamente financiado, é difícil imaginar a resistência feita a estas ideias. A afirmação do conceito de teoria geral dos sistemas, especialmente pelo falecido professor Otto Pötlz, famoso psiquiatra vienense, ajudou o autor a vencer suas inibições e publicar um comunicado (reproduzido

no capítulo 3 deste livro). Mais uma vez o destino interveio. O artigo (na *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*) chegou ao estágio das provas, mas o número da revista que devia contê-lo foi destruído na catástrofe da última guerra. Depois da guerra, a teoria geral dos sistemas foi apresentada em conferências (cf. Apêndice), amplamente discutida com os físicos (VON BERTALANFFY, 1948a) e discutida em conferência e simpósios (por exemplo, VON BERTALANFFY e col., 1951).

A finalidade da teoria dos sistemas foi recebida com incredulidade, sendo julgada fantástica ou presunçosa. Além do mais – objetava-se – a teoria era *trivial*, porque os supostos isomorfismos eram simplesmente exemplos do truísmo segundo o qual a matemática pode aplicar-se a todas as espécies de coisas e portanto não tem maior peso do que a “descoberta” de que $2 + 2 = 4$ é igualmente verdadeira para maçãs, dólares e galáxias. Dizia-se também que era uma teoria *falsa e desnorteadora*, porque as analogias superficiais – como na famosa similitude entre a sociedade e um “organismo” – escamoteiam as diferenças reais e assim conduzem a conclusões erradas e mesmo moralmente inaceitáveis. Ou, ainda uma vez, dizia-se que a teoria era filosófica e metodologicamente *infundada*, porque a alegada “irreducibilidade” dos níveis superiores aos inferiores tendia a impedir a pesquisa analítica, cujo sucesso era evidente em vários campos, tais como na redução da química aos princípios físicos ou dos fenômenos da vida à biologia molecular.

Aos poucos foi-se compreendendo que estas objeções não atingiam o alvo no que diz respeito à natureza da teoria dos sistemas, a saber, a tentativa de uma interpretação e uma teoria científica em assuntos nos quais anteriormente não existiam, e chegar a uma generalidade mais alta do que a das ciências especiais. A teoria geral dos sistemas atendia a uma secreta tendência de várias disciplinas. Uma carta de K. Boulding, economista, datada de 1953, resume bem a situação:

Parece que cheguei a uma conclusão muito semelhante à sua, embora partindo da economia e das ciências sociais e não da biologia, a saber, que existe um corpo daquilo que chamei

“teoria empírica geral”, ou “teoria geral dos sistemas”, em sua excelente terminologia, com larga aplicação em muitas disciplinas diferentes. Tenho a certeza de haver muita gente em todo o mundo que chegou essencialmente à posição que temos, mas estão amplamente espalhadas e não se conhecem umas às outras, tão grande é a dificuldade de atravessar as fronteiras das disciplinas.

No primeiro ano do Centro de Estudos Superiores das Ciências do Comportamento (Palo Alto), encontraram-se Boulding, o biomatemático A. Rapoport, o fisiologista Ralph Gerard e o presente autor. O projeto de uma Sociedade da Teoria Geral dos Sistemas foi realizado na reunião anual da Associação Americana para o Progresso da Ciência em 1954. O nome mais tarde foi mudado para a expressão menos pretensiosa “Sociedade de Pesquisa Geral dos Sistemas”, atualmente filiada à AAAS, cujas reuniões tornaram-se um apêndice bem frequentado das convenções da AAAS. Estabeleceram-se vários grupos locais da Sociedade em vários centros dos Estados Unidos e posteriormente da Europa. O programa original da sociedade não precisou revisão:

A Sociedade de Pesquisa Geral dos Sistemas foi organizada em 1954 para impulsionar o desenvolvimento dos sistemas teóricos aplicáveis a mais de um dos tradicionais departamentos de conhecimento. Suas principais funções são: (1) investigar a isomorfia de conceitos, leis e modelos em vários campos e promover a transferência útil de um campo para outro; (2) encorajar a criação de modelos teóricos adequados em campos onde atualmente não existem; (3) reduzir ao mínimo a duplicação do esforço teórico em diferentes campos; (4) promover a unidade da ciência mediante a melhoria da comunicação entre os especialistas.

O Anuário da Sociedade, *General Systems*, eficientemente dirigido por A. Rapoport, tem sido desde então seu órgão. Deliberadamente *General Systems* não segue uma orientação rígida, mas ao contrário oferece lugar para artigos de intenção diferente, conforme parece adequado em um campo que precisa de ideias e exploração. Grande número de pesquisas e publicações comprovam esta tendência em vários campos. Apareceu uma revista, *Mathematical Systems Theory*.

Enquanto isto, outra linha de desenvolvimento teve lugar. Apareceu em 1948 o livro *Cybernetics* de Norbert Wiener, resul-

tado das aquisições, então recentes, da tecnologia dos computadores, da teoria da informação e das máquinas autorreguladoras. Ainda uma vez, foi uma dessas coincidências que ocorrem quando as ideias estão no ar o fato de três contribuições fundamentais terem aparecido aproximadamente no mesmo momento, a saber, *Cybernetics* de Wiener (1948), a teoria da informação de Shannon e Weaver (1949) e a teoria dos jogos de von Neumann e Morgenstern (1947). Wiener levou os conceitos cibernéticos de retroação e informação muito além dos campos da tecnologia e generalizou-os nos domínios biológico e social. É verdade que a cibernética tinha precursores. O conceito de homeostase de Cannon foi uma pedra angular nessas considerações. Modelos menos conhecidos, mas detalhados de *feedback* de fenômenos fisiológicos, tinham sido elaborados pelo fisiologista alemão Richard Wagner (1954) na década de 1920, pelo detentor do Prêmio Nobel o suíço W.R. Hess (1941, 1942) e no *Reafferenzprinzip* de Erich von Holst. A enorme popularidade da cibernética na ciência, na tecnologia e na publicidade geral é sem dúvida devida a Wiener e à sua proclamação da Segunda Revolução Industrial.

A estreita correspondência entre os dois movimentos está bem documentada no enunciado programático de L. Frank na introdução a uma conferência sobre cibernética:

Os conceitos de comportamento finalista e de teleologia desde muito eram associados a uma misteriosa capacidade de autoaperfeiçoamento, ou de procura de um fim, ou uma causa final, em geral de origem sobre-humana ou sobrenatural. Para poder prosseguir no estudo dos acontecimentos o pensamento científico teve de rejeitar essas crenças na finalidade e estes conceitos de operações teleológicas, substituindo-os por uma concepção da natureza estritamente mecanicista e determinista. Esta concepção mecanicista tornou-se firmemente estabelecida com a demonstração de que o universo baseava-se na operação de partículas anônimas que se movem ao acaso, de maneira desordenada, dando origem, por sua multiplicidade, à ordem e à regularidade de uma natureza estatística, como na física clássica e nas leis dos gases. O indiscutível sucesso desses conceitos e métodos em física e em astronomia, e mais tarde em química, deram à biologia e à fisiologia sua principal orientação. Este enfoque dos problemas dos organismos foi reforçado pela preocupação analítica da cultura e das línguas europeias ocidentais. As suposições fundamentais de nossas tradi-

ções e as persistentes implicações da linguagem que usamos quase nos impelem a abordar o estudo de qualquer objeto supondo-o composto de partes ou fatores separados, discretos, que devemos isolar e identificar como causas poderosas. Daí decorre nossa preocupação com o estudo da relação de duas variáveis. Assistimos hoje a procura de novas abordagens para novos e mais amplos conceitos e métodos capazes de tratar de grandes totalidades de organismos e personalidades. O conceito de mecanismos teleológicos, sejam quais forem os termos que o exprimam, pode ser considerado uma tentativa de escapar daquelas velhas formulações mecanicistas que agora se mostram inadequadas e fornecer novas e mais fecundas concepções e metodologias mais eficazes para estudarem processos autorreguladores, sistemas e organismos auto-orientados e personalidades que se dirigem a si mesmas. Assim, os termos *retroação*, *servo-mecanismos*, *sistemas circulares* e *processos circulares* podem ser considerados expressões diferentes, mas equivalentes da mesma concepção básica (FRANK e col., 1948, resumido).

O exame do desenvolvimento da cibernética na tecnologia e na ciência excederia os limites deste livro, sendo desnecessário em vista da extensa literatura sobre o assunto. Entretanto, a presente síntese histórica é conveniente porque surgiram certas incompreensões e interpretações errôneas. Assim, Buckley (1967, p. 36) declara que “a moderna teoria dos sistemas, embora aparentemente tenha surgido de modo original do esforço realizado na última guerra, pode ser considerada a culminação de um amplo movimento na perspectiva científica que tendia a tornar-se dominante desde os últimos séculos”. Embora a segunda parte da proposição seja verdadeira, a primeira não é. A teoria dos sistemas não “surgiu do esforço realizado na última guerra”, mas remonta a tempos muito anteriores e tem raízes inteiramente diferentes dos equipamentos militares e realizações tecnológicas afins. Tampouco houve uma “emergência da teoria dos sistemas partindo de recentes progressos na análise dos sistemas de engenharia” (SHAW, 1965), exceto em um sentido especial da palavra.

A teoria dos sistemas é também frequentemente identificada com a cibernética e a teoria do controle. Também isto é incorreto. A cibernética enquanto teoria dos mecanismos de controle na tecnologia e na natureza, fundada nos conceitos de informação e

retroação, é apenas uma parte da teoria geral dos sistemas. Os sistemas cibernéticos são um caso especial, embora importantes, dos sistemas que apresentam autorregulação.

Rumos da teoria dos sistemas

Numa época em que qualquer novidade, por trivial que seja, é aclamada como revolucionária, estamos cansados de ver usado este rótulo aplicado a criações científicas. Uma vez que as minissaias e os cabelos compridos usados pela juventude são chamados de revolução e qualquer novo estilo de automóvel ou remédio lançados pela indústria farmacêutica são anunciados com este título, a palavra converteu-se num *slogan* de propaganda que a faz dificilmente merecer séria consideração. Entretanto, pode ser usada em sentido estritamente técnico, isto é, as “revoluções científicas” podem ser identificadas por certos critérios de diagnóstico.

De acordo com Kuhn (1962), uma revolução científica define-se pelo aparecimento de novos esquemas ou “paradigmas” conceituais. Estes põem em evidência aspectos que não eram anteriormente vistos nem percebidos, ou eram mesmo suprimidos na ciência “normal”, isto é, a ciência geralmente aceita e praticada no momento. Por conseguinte, há um deslocamento nos problemas observados e estudados e uma mudança das regras da prática científica, comparável à troca nas *gestalten* perceptíveis nas experiências psicológicas, quando por exemplo a mesma figura pode ser vista como constituída por dois perfis ou por uma taça, um pato ou um coelho. É bem compreensível que nessas fases críticas seja acentuada a importância da análise filosófica, que não é sentida com a mesma necessidade em períodos de crescimento da ciência “normal”. As primitivas versões de um novo paradigma são na maioria das vezes toscas, resolvem poucos problemas e as soluções dadas aos problemas individuais estão longe de serem perfeitas. Há uma profusão e competição de teorias, cada uma das quais limitada no que diz respeito ao número de problemas a que se referem e à solução elegante daqueles que são levados em consideração. Contudo, o novo paradigma abrange

novos problemas, especialmente os que anteriormente eram rejeitados como “metafísicos”.

Estes critérios foram extraídos por Kuhn do estudo das revoluções “clássicas” em física e química, mas são uma excelente descrição das transformações realizadas pelos conceitos de organismo e de sistema, elucidando ao mesmo tempo os méritos e as limitações destes conceitos. Especialmente, mas não de modo surpreendente, a teoria dos sistemas abrangê um certo número de enfoques diferentes quanto ao estilo e às finalidades.

O problema do sistema é essencialmente o problema das limitações dos procedimentos analíticos na ciência. Isto costuma ser expresso em enunciados semimetafísicos, tais como evolução emergente ou “o todo é mais do que a soma de suas partes”, mas tem uma clara significação operacional. “Procedimento analítico” significa que uma entidade pode ser estudada resolvendo-se em partes e, por conseguinte, pode ser constituída ou reconstituída pela reunião destas partes. Estes procedimentos são entendidos tanto em sentido material quanto em sentido conceitual. Este é o princípio fundamental da ciência “clássica”, que pode ser apresentado de diversas maneiras, a saber, resolução em séries causais isoláveis, procura de unidades “atômicas” nos vários campos da ciência, etc. O progresso da ciência mostrou que estes princípios da ciência clássica – enunciados primeiramente por Galileu e Descartes – têm grande sucesso em um amplo domínio de fenômenos.

A aplicação do procedimento analítico depende de duas condições. A primeira é que as interações entre as “partes” ou não existam ou sejam suficientemente fracas para poderem ser desprezadas nas finalidades de certo tipo de pesquisa. Só com esta condição as partes podem ser “esgotadas” real, lógica e matematicamente, sendo em seguida “reunidas”. A segunda condição é que as relações que descrevem o comportamento das partes sejam lineares, pois só então é dada a condição de aditividade, isto é, uma equação que descreve o comportamento do todo é da mesma forma que as equações que descrevem o comportamento

das partes. Os processos parciais podem ser sobrepostos para obter o processo total, etc.

Estas condições não são satisfeitas pelas entidades chamadas sistemas, isto é, consistindo de partes “em interação”. O protótipo de sua descrição é um conjunto de equações diferenciais simultâneas (p. 84ss), não lineares no caso geral. Um sistema ou “complexidade organizada” (p. 57) pode ser definido pela existência de “fortes interações” (RAPOPORT, 1966) ou de interações “não triviais” (SIMON, 1965), isto é, não lineares. O problema metodológico da teoria dos sistemas consiste portanto em preparar-se para resolver problemas que, comparados aos problemas analíticos e somatórios da ciência clássica, são de natureza mais geral.

Conforme dissemos, há vários enfoques para tratar desses problemas. Usamos intencionalmente a expressão um tanto vaga “enfoques” porque estes são logicamente não homogêneos, representam diferentes modelos conceituais, técnicas matemáticas, pontos de vista gerais, etc., concordando porém na qualidade de serem “teorias dos sistemas”. Deixando de lado os enfoques da pesquisa aplicada dos sistemas, tais como os sistemas de engenharia, a pesquisa operacional, a programação linear e não linear, etc., os enfoques mais importantes são os seguintes (para uma boa compilação veja-se DRISCHEL, 1968):

A teoria “clássica” dos sistemas aplica a matemática clássica, isto é, o cálculo. Tem por finalidade enunciar princípios que se aplicam aos sistemas em geral ou a subclasses definidas (por exemplo, sistemas fechados e abertos), fornecer técnicas para sua investigação e descrição e aplicar estas técnicas aos casos concretos. Devido à generalidade desta descrição pode-se afirmar que certas propriedades formais se aplicarão a qualquer entidade enquanto sistema (sistema aberto ou sistema hierárquico, etc.), mesmo quando sua natureza particular, suas partes e relações sejam desconhecidas ou não pesquisadas. Como exemplo podemos mencionar os princípios generalizados da cinética aplicáveis a populações de moléculas ou a entidades biológicas, isto

é, a sistemas químicos e ecológicos; a difusão, cujas equações podem aplicar-se em físico-química e no espalhamento de boatos; a aplicação de modelos de estado estável e de mecânica estatística ao fluxo do tráfego (GAZIS, 1967); análise alométrica de sistemas biológicos e sociais.

Computação e simulação. Os conjuntos de equações diferenciais simultâneas como meio de “modelar” ou definir um sistema são, quando lineares, de solução fatigante, mesmo no caso de haver poucas variáveis. Quando não lineares são insolúveis, exceto em casos especiais (Tabela 1.1).

Tabela 1.1
Classificação de problemas matemáticos* e sua facilidade de solução por métodos analíticos (FRANKS, 1967).

	Equações lineares			Equações não lineares		
	Uma Equação	Várias Equações	Muitas Equações	Uma Equação	Várias Equações	Muitas Equações
Algébrica	Trivial	Fácil	Essencialmente impossível	Muito difícil	Muito difícil	Impossível
Diferencial ordinária	Fácil	Difícil		Essencialmente impossível	Muito difícil	Impossível
Diferencial parcial	Difícil	Essencialmente impossível			Impossível	Impossível

* Gentileza da Electronic Associates, Inc.

Por esta razão, os computadores inauguraram um novo enfoque na pesquisa dos sistemas, não somente por facilitarem os cálculos que, a não ser assim, excederiam o tempo e a energia disponíveis, substituindo a engenhosidade matemática por procedimentos de rotina, mas também abrindo campos onde não existiam teorias matemáticas ou meios de solução. Assim, sistemas que excedem de muito a matemática convencional podem ser submetidos à computação. Por outro lado, as experiências reais de laboratório podem ser substituídas pela simulação em compu-

tadores sendo o modelo desenvolvido dessa maneira submetido em seguida à prova pelos dados experimentais. Deste modo, por exemplo, P. Hess calculou a cadeia de 14 estágios da reação da glicólise na célula usando um modelo de mais de 100 equações diferenciais não lineares. As análises deste tipo são agora rotineiras em economia, na pesquisa de mercado, etc.

Teoria dos compartimentos. Um aspecto dos sistemas que pode ser considerado separadamente devido à alta complexidade alcançada neste campo é a teoria dos compartimentos (RES-CIGNO & SEGRE, 1966), isto é, a teoria segundo a qual o sistema consiste de subunidades com certas condições de fronteiras entre as quais podem ocorrer processos de transporte. Esses sistemas de compartimentos podem ter, por exemplo, estrutura “catenária” ou “mamilar” (cadeia de compartimentos ou um compartimento central em comunicação com um certo número de outros periféricos). Compreende-se bem que as dificuldades matemáticas tornam-se proibitivas no caso de sistemas de três ou mais compartimentos. As transformações de Laplace, a introdução das redes e dos gráficos tornam a análise possível.

Teoria dos conjuntos. As propriedades formais gerais dos sistemas, fechados ou abertos, etc., podem ser axiomatizadas em termos da teoria dos conjuntos (MESAROVIC, 1964; MACCIA, 1966). Em elegância matemática este enfoque revela-se superior às formulações mais toscas e espaciais da teoria “clássica” dos sistemas. As conexões da teoria axiomatizada dos sistemas (ou de seus começos atuais) com os problemas dos sistemas reais são um tanto tênues.

Teoria dos gráficos. Muitos problemas dos sistemas referem-se a propriedades estruturais ou topológicas dos sistemas, e não a relações quantitativas. A este respeito dispomos de várias abordagens. A teoria dos gráficos, especialmente a teoria dos gráficos dirigidos (digráficos), elabora as estruturas relacionais representando-as em um espaço topológico. Foi aplicada a aspectos relacionais da biologia (RASHEVSKY, 1956, 1960; ROSEN, 1960). Matematicamente, esta teoria liga-se à álgebra das matrizes e em forma de modelos com a teoria compartimental dos sistemas que

contêm subsistemas parcialmente “permeáveis”. E a partir destes relaciona-se com a teoria dos sistemas abertos.

A *teoria das redes*, por sua vez, liga-se às teorias dos conjuntos, dos gráficos, dos compartimentos, etc. e aplica-se a sistemas tais como as redes nervosas (por exemplo, RAPOPORT, 1949-1950).

A *cibernética* é uma teoria dos sistemas de controle baseada na comunicação (transferência de informação) entre o sistema e o meio e dentro do sistema, e do controle (retroação) da função dos sistemas com respeito ao ambiente. Como já foi mencionado e será discutido a seguir, o modelo é de ampla aplicação, mas não deveria ser identificado com a “teoria dos sistemas” em geral. Em biologia e em outras ciências fundamentais, o modelo cibernético serve para descrever a estrutura formal de mecanismos reguladores, por exemplo, por meio de diagramas de blocos e de fluxogramas. Assim, a estrutura reguladora pode ser reconhecida mesmo quando os mecanismos reais permanecem desconhecidos ou não são descritos, e o sistema é uma “caixa preta”, definida somente pela entrada e pela saída. Por motivos semelhantes, o mesmo esquema cibernético pode aplicar-se a sistemas hidráulicos, elétricos, fisiológicos, etc. A teoria altamente complexa dos servomecanismos na tecnologia foi aplicada aos sistemas naturais somente em limitada extensão (cf. BAYLISS, 1966; KALMUS, 1966; MILSUM, 1966).

A *teoria da informação*, no sentido de Shannon e Weaver (1949), baseia-se no conceito de informação, definido por uma expressão isomórfica à da entropia negativa da termodinâmica. Daqui deriva a expectativa de que a informação possa ser usada como medida de organização (cf. p. 42; QUASTLER, 1955). Embora a teoria da informação tenha adquirido importância na engenharia da comunicação, suas aplicações para a ciência permaneceram bastante inconvincentes (QILBERT, 1966). A relação entre a informação e a organização, a teoria da informação e a termodinâmica continua sendo um importante problema (cf. p. 197ss).

A teoria dos autômatos (MINSKY, 1967) é a teoria dos autômatos abstratos, com entrada, saída, possivelmente ensaios e er-

ros e aprendizagem. Um modelo geral é a máquina de Turing (1936). Expresso de maneira mais simples um autômato de Turing é uma máquina abstrata capaz de imprimir (ou de apagar) sinais “1” e “0” em uma fita de comprimento infinito. É possível mostrar que qualquer processo de qualquer complexidade pode ser simulado por uma máquina se este processo for capaz de ser expresso em um número finito de operações lógicas. Tudo aquilo que é logicamente possível (isto é, em um simbolismo algorítmico) pode também ser construído – em princípio, embora evidentemente nem sempre na prática – por um autômato (isto é, uma máquina algorítmica).

A *teoria dos jogos* (VON NEUMANN & MORGENSTERN, 1947) é um enfoque diferente, mas pode ser classificado entre as ciências dos sistemas porque diz respeito ao comportamento de jogadores supostamente “racional” para obter o máximo de ganhos e o mínimo de perdas mediante adequadas estratégias contra o outro jogador (ou a natureza). Por conseguinte, refere-se essencialmente a “um sistema” de “forças” antagonistas com especificações.

A *teoria da decisão* é uma teoria matemática que trata de escolhas entre alternativas.

A *teoria da fila* refere-se à otimização de arranjos em condições de aglomeração.

Mesmo pouco homogênea e incompleta como é, confundindo modelos (por exemplo, sistema aberto, circuito de retroação) com técnicas matemáticas (por exemplo, teoria dos conjuntos, dos gráficos, dos jogos), esta enumeração é suficiente para mostrar que existe um conjunto de enfoques para a investigação dos sistemas, incluindo poderosos métodos matemáticos. O ponto sobre o qual convém insistir é que os problemas anteriormente situados fora do campo de exame, não tratados ou considerados estarem além da ciência ou serem puramente filosóficos, tornam-se progressivamente explorados.

Naturalmente, existe frequentemente uma incongruência entre modelo e realidade. Há modelos matemáticos altamente com-

plicados e requintados, mas continua sendo uma questão duvidosa saber como podem ser aplicados aos casos concretos. Existem problemas fundamentais para os quais não dispomos de técnicas matemáticas. Tem havido decepções relativas a expectativas superestimadas. A cibernética, por exemplo, causou impacto não somente na tecnologia, mas nas ciências fundamentais, produzindo modelos para fenômenos concretos e trazendo os fenômenos teleológicos – que anteriormente eram tabus – para o âmbito dos problemas cientificamente legítimos. Mas não produziu uma explicação que abranja a totalidade das coisas, ou uma grande “concepção do mundo”, sendo mais uma extensão do que a substituição da concepção mecanicista e da teoria das máquinas (BRONOWSKI, 1964). A *teoria da informação*, com alto desenvolvimento matemático, revelou-se decepcionante em psicologia e sociologia. A teoria dos jogos foi aplicada com grandes esperanças à guerra e à política, mas dificilmente alguém diria que conduziu à melhoria das decisões políticas e do estado do mundo, fracasso não inesperado quando se considera a pequena semelhança entre as potências e os jogadores “racional” da teoria dos jogos. Os conceitos e modelos de equilíbrio, homeostase, ajustamento, etc. são adequados à manutenção de sistemas, mas inadequados aos fenômenos de transformação, diferenciação, evolução, neguentropia, produção de estados improváveis, criatividade, formação de tensões, autorrealização, emergência, etc., como Cannon de fato compreendeu quando reconheceu, além da homeostase, uma “heterostase”, incluindo fenômenos do segundo tipo. A teoria dos sistemas abertos aplica-se a uma ampla gama de fenômenos em biologia (e em tecnologia), mas é necessária uma advertência contra sua descuidada expansão a campos para os quais seus conceitos não foram feitos. Estas limitações e lacunas eram de esperar em um campo que tem apenas pouco mais de vinte ou trinta anos de existência. Em última instância, o desapontamento resulta da transformação de um modelo útil sob certos aspectos em uma realidade metafísica e uma filosofia do tipo “não é outra coisa senão”, conforme muitas vezes aconteceu na história intelectual.

São bem conhecidas as vantagens dos modelos matemáticos, a saber, a ausência de ambiguidade, possibilidade de estrita dedução, verificabilidade por meio de dados observados. Isto não significa que os modelos formulados em linguagem ordinária devam ser desprezados ou recusados.

Um modelo verbal é melhor do que nenhum modelo ou do que um modelo que, visto poder ser formulado matematicamente, é imposto à força à realidade, falsificando-a. Teorias de enorme influência, como a psicanálise, não foram matemáticas ou, como a teoria da seleção, seu impacto excede de muito as construções matemáticas, que só apareceram mais tarde e cobrem apenas aspectos parciais e uma pequena fração dos dados empíricos.

A matemática significa essencialmente a existência de um algoritmo que é muito mais preciso que o de qualquer linguagem ordinária. A história da ciência atesta que a expressão em linguagem ordinária frequentemente precedeu a formulação matemática, isto é, a invenção de um algoritmo. Os exemplos vêm facilmente ao espírito: a evolução da contagem por meio de palavras para os numerais romanos (um meio algoritmo, semiverbal desajeitado), para anotação arábica, com valor de posição; as equações, da formulação verbal para o rudimentar simbolismo tratado com virtuosidade (mas para nós difícil de acompanhar) por Diofanto e outros fundadores da álgebra, para a notação moderna; teorias como as de Darwin ou da economia, que somente mais tarde encontraram (parcial) formulação matemática. Pode ser preferível ter primeiramente algum modelo não matemático com suas insuficiências, mas exprimindo aspectos anteriormente despercebidos, esperando que o futuro desenvolvimento forneça o adequado algoritmo, do que começar com prematuros modelos matemáticos que seguem conhecidos algoritmos e portanto restringem possivelmente o campo de visão. Muitas realizações da biologia molecular, da teoria da seleção, da cibernética e de outros campos mostraram os efeitos obsecantes daquilo que Kuhn chamou a ciência “normal”, isto é, os esquemas conceituais admitidos em caráter monolítico.

Os modelos em linguagem ordinária têm portanto seu lugar na teoria dos sistemas. A ideia de sistema conserva seu valor mesmo quando não pode ser formulada matematicamente ou permanece uma “ideia diretriz” mais do que uma construção matemática. Por exemplo, não podemos ter conceitos satisfatórios de sistemas em sociologia. A simples compreensão de que as entidades sociais são sistemas e não somas de átomos sociais, ou de que a história consiste em sistemas (embora mal definidos) chamados civilizações, que obedecem aos princípios gerais dos sistemas, implica a reorientação desses campos.

Conforme se vê pelo exame anterior, no “enfoque dos sistemas” há tendências e modelos mecanicistas e organicistas, que se esforçam por dominar os sistemas quer pela “análise”, “causalidade (incluindo a circular) linear”, “autômatos”, quer por “totalidade”, “interação”, “dinâmica” (ou quaisquer outras palavras que possam ser usadas para delimitar a diferença). Embora estes modelos não sejam mutuamente exclusivos e os mesmos fenômenos possam mesmo ser abordados por diferentes modelos (por exemplo, conceitos “cibernéticos” ou cinéticos”; cf. LOCKER, 1964), é possível perguntar qual desses pontos de vista é o mais geral e fundamental. Em termos amplos, esta é uma questão que deve ser proposta à máquina de Turing em sua qualidade de autômato geral.

Um aspecto da questão (tanto quanto saibamos não tratado na teoria dos autômatos) é o problema dos números “imensos”. O enunciado fundamental da teoria dos autômatos é que os acontecimentos capazes de serem definidos em um número finito de “palavras” podem ser realizados por um autômato (por exemplo, uma rede neural formal, segundo McCulloch e Pitts, ou uma máquina de Turing) (VON NEUMANN, 1951). A questão está no termo “finito”. O autômato pode por definição realizar uma série finita de acontecimentos (por maior que seja), mas não uma série infinita. Entretanto, o que acontece se o número de etapas requeridas é “imenso”, isto é, não infinito mas por

exemplo superando o número de partículas existentes no universo (avaliado ser da ordem de 10^{80}) ou de acontecimentos possíveis na duração do universo ou de algumas de suas subunidades? (segundo a opinião de Elsasser, 1966, um número cujo logaritmo é um número grande). Estes números imensos aparecem em muitos problemas de sistemas com exponenciais, fatoriais e outras funções explosivamente crescentes. São encontrados em sistemas mesmo de um número moderado de componentes com fortes (não desprezíveis) interações (ASHBY, 1964). Para “mapeá-los” em uma máquina de Turing seria preciso uma fita de comprimento “imenso”, isto é, que excedesse não somente as limitações práticas mas as limitações físicas.

Consideremos a título de simples exemplo um gráfico dirigido de N pontos (RAPOPORT, 1959b): Entre cada par pode existir ou não existir uma seta (duas possibilidades). Há, portanto, $2^{N(N-1)}$ diferentes modos de ligar os N pontos. Se N for somente 5, há mais de um milhão de modos de ligar os pontos. Com $N = 20$ o número de modos excede o número de átomos que se avalia existirem no universo. Problemas deste tipo surgem, por exemplo, com as possíveis conexões entre os neurônios (estimados serem da ordem de dez bilhões no cérebro humano) e com o código genético (REPGE, 1962). No código, há um mínimo de vinte “palavras” (tripletos de nucleótidos) escritas com os vinte aminoácidos (realmente 64); o código pode conter alguns milhões de unidades. Isto dá $20^{1.000.000}$ de possibilidades. Suponhamos que o espírito laplaciano tenha de descobrir o valor funcional de cada combinação. Teria de fazer este número de ensaios, mas há somente 10^{80} átomos e organismos no universo. Suponhamos (REPGE, 1962) que em certo momento do tempo existam na Terra 10^{30} células. Admitamos além disso que há uma nova geração celular a cada minuto, o que daria, para uma idade da Terra de 15 bilhões de anos (10^{16} minutos), um total de 10^{46} células. Sem dúvida, para obter o número máximo, teríamos de supor 10^{20} planetas dotados de vida. Por conseguinte,

te, no universo inteiro, não haveria certamente mais do que 10^{66} seres vivos, o que é um grande número, mas está longe de ser “imenso”. A estimativa pode ser feita com diferentes suposições (por exemplo, número de possíveis proteínas ou enzimas), mas essencialmente com o mesmo resultado.

Ainda uma vez, de acordo com Hart (1959), a invenção humana pode ser concebida como constituída por novas combinações de elementos anteriormente existentes. Se assim é, a oportunidade de novas invenções aumentará aproximadamente como função do número de possíveis permutações e combinações de elementos disponíveis, o que significa que este aumento será um fatorial do número de elementos. Por conseguinte, a taxa de aceleração das transformações sociais está ela própria se acelerando, de modo que em muitos casos será encontrada numa mudança cultural não uma aceleração logarítmica, mas uma aceleração log-log. Hart apresenta interessantes curvas mostrando que o aumento na velocidade humana, nas áreas de morticínio das armas, na expectativa da vida, etc. seguem realmente esta expressão, isto é, o ritmo de crescimento cultural não é exponencial ou do tipo de juros compostos, mas constitui uma superaceleração à maneira da curva log-log. De modo geral, os limites dos autômatos aparecerão se a regulação de um sistema for dirigida não contra um único ou um ilimitado número de perturbações, mas contra perturbações “arbitrárias”, isto é, um número indefinido de situações que possivelmente não teriam sido “previstas”. É isto largamente o que acontece no caso das regulações embrionárias (por exemplo, experiências de Driesch) e neurais (por exemplo, experiências de Lashley). As regulações resultam aqui da interação de muitos componentes (cf. discussão em JEFFRIES, 1951, p. 32s). Isto, segundo o próprio von Neumann admite, parece estar ligado com as tendências à “autorrestauração” dos sistemas orgânicos ao contrário do que acontece com os sistemas tecnológicos. Expresso em termos mais modernos, este fato refere-se à natureza de sistemas abertos que não é dada mesmo no modelo abstrato de autômato como a máquina de Turing.

Parece, portanto que, conforme os vitalistas, tais como Driesch, tinham há muito acentuado, a concepção mecanicista, mesmo tomada na forma moderna e generalizada de um autômato de Turing, fracassa quando se trata de regulações subseqüentes a perturbações “arbitrárias”, o mesmo acontecendo com acontecimentos nos quais o número de fases exigido é “imenso” no sentido indicado. Surgem problemas relativos à possibilidade de realização mesmo à parte dos paradoxos relacionados com os conjuntos infinitos.

As considerações acima referem-se particularmente a um conceito, ou conjunto de conceitos, que indubitavelmente é fundamental na teoria geral dos sistemas, a saber, o de ordem hierárquica. “Vemos” agora o universo como uma tremenda hierarquia, das partículas elementares aos núcleos atômicos, aos átomos, às moléculas, aos compostos de elevado número de moléculas, até a riqueza de estruturas (reveladas pelos microscópios luminosos, eletrônicos) entre moléculas e células (WEISS, 1962b), às células, organismos e, para além desses, as organizações supraindividuais. Um sugestivo esquema da ordem hierárquica (há outros) é o de Boulding (Tabela 1.2). Uma hierarquia deste tipo encontra-se tanto nas “estruturas” quanto nas “funções”. Em última instância, estrutura (isto é, ordem das partes) e função (ordem dos processos) podem ser a mesma coisa. No mundo físico a matéria se dissolve em um jogo de energias e no mundo biológico as estruturas são a expressão de um fluxo de processos. Atualmente, o sistema das leis físicas refere-se principalmente ao domínio entre os átomos e as moléculas (e sua adição em macrofísica), o que evidentemente é uma fatia de um espectro muito mais largo. As leis de organização e as forças de organização são insuficientemente conhecidas no domínio subatômico e supermolecular. Há penetrações tanto no mundo subatômico (física das altas energias) quanto no mundo supramolecular (física dos compostos moleculares elevados), mas estas acham-se aparentemente apenas no começo. Isto é revelado de um lado pela atual confusão das par-

tículas elementares e de outro lado pela atual falta de compreensão física de estruturas vistas ao microscópio eletrônico e pela falta de uma “gramática” do código genético (cf. p. 199-200).

Uma teoria geral da ordem hierárquica seria evidentemente um esteio da teoria geral dos sistemas. Os princípios da ordem hierárquica podem ser enunciados em linguagem verbal (KOESTLER, 1967). Há ideias semimatemáticas (SIMON, 1965) relacionadas com a teoria das matrizes e formulações em termos da lógica matemática (WOODGER, 1930-1931). Na teoria dos gráficos a ordem hierárquica é expressa pela “árvore” podendo os aspectos relacionais das hierarquias ser representados dessa maneira. Mas o problema é muito mais amplo e profundo. A questão da ordem hierárquica está intimamente relacionada com as questões da diferenciação, da evolução e com a medida da organização, que não parece ser adequadamente expressa em termos quer da energética (entropia negativa) quer da teoria da informação (bits). Em última instância, conforme dissemos, a ordem hierárquica e a dinâmica podem ser a mesma coisa, conforme Koestler exprimiu graciosamente em sua imagem de “A árvore e a vela”.

Assim, existe um arranjo de modelos de sistemas, mais ou menos avançado e complexo. Certos conceitos, modelos e princípios da teoria geral dos sistemas, tais como ordem hierárquica, diferenciação progressiva, retroação, características dos sistemas definidas pela teoria dos conjuntos e dos gráficos, etc. são largamente aplicáveis aos sistemas materiais, psicológicos e socioculturais. Outros conceitos, tais como os de sistema aberto, definidos pela troca de matéria, limitam-se a certas subclasses. A prática da análise aplicada aos sistemas mostra que é preciso aplicar diversos modelos de sistemas, de acordo com a natureza do caso e os critérios operacionais.

Tabela 1.2

Vista geral informal dos principais níveis na hierarquia dos sistemas
Parcialmente de conformidade com Boulding, 1956b

Nível	Descrição e exemplos	Teoria e modelos
Estruturas estáticas	Átomos moléculas, cristais, estruturas biológicas do nível da microscopia eletrônica até o nível macroscópico	Por exemplo, fórmulas estruturais da química: cristalografia; descrições anatômicas
Relojoaria	Relógios, máquinas convencionais em geral, sistemas solares	Física convencional, tal como as leis da mecânica (newtoniana e einsteiniana) e outras
Mecanismo de controle	Termostato, servomecanismos, mecanismo homeostático nos organismos	Cibernética; retroação e teoria da informação
Sistemas abertos	Chama, células e organismos em geral	(a) Expansão da teoria física e sistemas que se mantêm em um fluxo de matéria (metabolismo) (b) Armazenagem da informação no código genético (ADN) A ligação (a) e (b) não está atualmente esclarecida
Organismos inferiores	Organismos "vegetais": crescente diferenciação do sistema (a chamada "divisão do trabalho" no organismo); distinção entre o indivíduo reprodutivo e o funcional ("sucesso do germe e soma")	Faltam quase teorias e modelos
Animais	Crescente importância da circulação de informações (evolução de receptores, sistemas nervosos); aprendizagem; começo da consciência	Começos da teoria dos autômatos (relações E-R), retroação (fenômenos reguladores), comportamento autônomo (oscilações amortecidas), etc.
Homem	Simbolismo; passado e futuro, individualidade e mundo, autoconsciência, etc., como consequências; comunicação pela linguagem, etc.	Incipiente teoria do simbolismo.

Sistemas socioculturais	Populações de organismos (inclusive humanos); comunidades determinadas por símbolos (culturas) somente no homem	Leis estatísticas e possivelmente dinâmicas na dinâmica das populações; na sociologia, na economia e possivelmente na história. Começos de uma teoria dos sistemas culturais.
Sistemas simbólicos	Linguagem, lógica, matemática, ciências, arte, moral, etc.	Algoritmos de símbolos (por exemplo, matemática, gramática): "regras do jogo" tais como nas artes visuais, na música, etc.

Nota: Esta vista geral é impressionista e intuitiva e não tem pretensão de rigor lógico. Os níveis superiores em regra pressupõem os inferiores (por exemplo, os fenômenos vitais pressupõem os do nível físico-químico, os fenômenos socioculturais pressupõem o nível de atividade humana, etc.). Mas a relação entre os níveis exige esclarecimento em cada caso (cf. problemas tais como o sistema aberto e o código genético como requisitos aparentes da "vida", relação de sistemas "conceituais" a "reais", etc.). Neste sentido a Tabela aponta tanto os limites do reducionismo quanto as lacunas do conhecimento atual.

