

Teoria Geral de Sistemas

João Bosco da Mota Alves

Preprint 2006...

Sumário

1	Introdução	4
1.1	Nem tudo o que se vê é o que acontece na real	4
1.2	Platão e a Alegoria da Caverna	6
1.3	Fenômeno da Emergência	8
1.4	O Sistema e Seus Componentes	18
1.5	Visão Sistêmica	25
2	Concepção de Sistemas	29
a.	Ver o iceberg todo	29
b.	Visualizar cenários: absolutamente necessário	39
c.	O que é sistema neste texto	46
d.	Enfoque Cartesiano	49
e.	Enfoque Sistêmico	51
f.	Paradigma Escolástico	52
g.	Paradigma do Renascimento	55
h.	Mecanicismo e Determinismo	59
i.	Hegemonia do Determinismo	62
2.1	<i>Como é possível entender-se a vida quando o mundo inteiro é organizado de acordo com a segunda lei da termodinâmica, que aponta para a sua aniquilação.</i>	71
j.	Era da Relatividade e Mecânica Quântica	71
2.2	<i>Havia uma moça chamada Bright,</i>	72
2.3	<i>Que viajava mais rápido que a luz,</i>	72
2.4	<i>Um dia ela viajou,</i>	72
2.5	<i>De uma forma relativa,</i>	72
2.6	<i>E chegou na noite anterior.</i>	72
2.7	<i>É fundamentalmente impossível definir posição e velocidade para uma partícula.</i>	73
2.8	<i>Um experimento sobre um aspecto de um sistema (de dimensões atômicas) destrói a possibilidade de aprendizagem sobre um aspecto complementar do mesmo sistema.</i>	74
k.	A Era de Sistemas	77
3	Características de Sistemas	87

l.	Características básicas	87
m.	Hierarquia de Sistemas	94
n.	Sobre Classificação de Sistemas	98
o.	Sistemas Abertos.....	101
p.	Sistemas com Estrutura Fixa (Framework).....	105
q.	Sistemas Mecanismo de Relógio (Clockwork)	107
r.	Sistemas Cibernéticos	111
s.	Sistemas de Crescimento Planejado (Blueprinted Growth)	116
t.	Sistemas com Imagem Interna	117
u.	Sistemas com Processamento Simbólico	117
v.	Sistemas Sociais.....	118
4	Estados de Sistemas	119
w.	Estado de um Sistema	119
x.	Diagrama de Estado	124
y.	Quebra-cabeças	125
z.	Equilíbrio de Estados de Sistemas	128
aa.	Sistemas Adaptativos	130
bb.	Região de Estabilidade.....	131
cc.	Um Toque sobre Sobrevivência.....	133
dd.	Processo: Sequência de Estados.....	135
5	Modelos de Sistemas.....	137
ee.	O que é um Modelo.....	137
ff.	Características de modelos.....	139
gg.	Como são extraídos os modelos.....	141
hh.	Primeira etapa da modelagem: observação	143
ii.	Segunda etapa da modelagem: interpretação	144
jj.	Terceira etapa da modelagem: transformação.....	145
kk.	Quarta etapa da modelagem: verificação	145
ll.	Representação de modelos	146
mm.	Exemplos de Modelos de Sistemas	149
	Referências.....	150

1 Introdução

A mente humana está adaptada para fazer inferência. Seja na composição de movimentos, seja em criar objetos 3-D, ou mesmo quando consegue abstrair algo. Neste capítulo você irá constatar de que forma isso acontece, segundo resultados conseguidos pela Ciência Cognitiva. Ao longo da evolução essa foi a solução encontrada para permitir a sobrevivência da espécie. Verá, também, que essa característica da mente humana pode ser utilizada em benefício do próprio ser humano, no que diz respeito à compreensão do mundo que a fez emergir. Esse aprendizado é essencial para um melhor exercício da profissão, qualquer que ela seja, isto é, possui aplicações em qualquer área do conhecimento humano. Aprender um pouco como é que essa mente funciona, o que é atribuição da Neurociência, trouxe um benefício inestimável para a ciência de um modo geral, uma vez que esses resultados podem ser considerados em futuros trabalhos de pedagogia e educação. A Teoria Geral de Sistemas, disciplina fundamental em um mundo globalizado, ajuda e muito na compreensão citada, pois chama a atenção para uma visão do todo, incluindo-se os efeitos de segunda ordem (colaterais) de qualquer tomada de decisão.

1.1 Nem tudo o que se vê é o que acontece na real

Ao contrário do que se pode imaginar, a mente humana é facilmente *enganada*. Por vezes isso não é ruim. Pelo contrário, fenômenos como inferência de movimento no monitor de TV, por exemplo, tira proveito justamente dessa "enganação": um certo número de quadros por segundo (digamos, 25) é passado em nossa frente, captado por nossos olhos e processado por nossa mente, que infere a idéia de movimento. Nesse caso a "enganação" não é uma

coisa ruim. Há, também, uma forma bem simples de confirmar essa "enganação": preste atenção em qualquer "GIF animado" existentes aos borbotões em páginas da Internet. A diferença entre assistir TV e um "GIF animado" é que este último tem apenas 3 (ou 4?) quadros. Ainda assim, a idéia de movimento é inferida pelo mente humana, mesmo com um número tão pequeno de quadros por segundo.

Donald D. Hoffman, professor do Departamento de Ciência Cognitiva da Universidade da Califórnia, Campus de Irvine, em cuja pagina pessoal (HOFFMAN, 2004) você pode descobrir mais sobre esse tema, é autor do livro Inteligência Visual (HOFFMAN, 2000), onde trata com detalhes de como criamos o que vemos. Um dos efeitos tratados em seu livro estão os conhecidos Cubos de Necker, ilustrado na Fig. 1-1. Observe que quando os dois vértices diametralmente opostos são coincidentes (cubo da esquerda), sua mente não consegue mais construir a visão 3-D, o que acontece com facilidade no cubo do meio e, ainda com certo esforço, no cubo da direita.

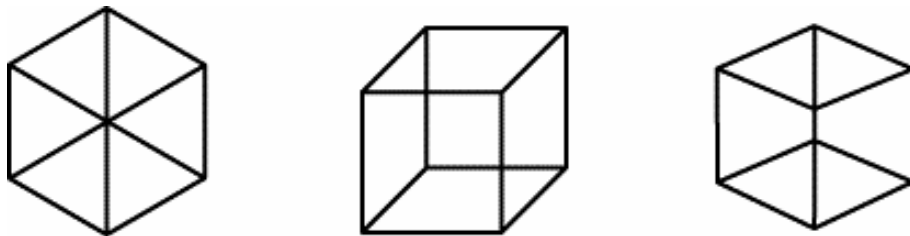


Figura 1-1: Cubos de Necker.

Fonte: <http://aris.ss.uci.edu/cogsci/personnel/hoffman/three-cubes.gif>, 04 mar 2004.

As abstrações são tão comuns à nossa mente que nem nos damos conta disso. A própria idéia de ponto, reta e plano, abstrações da geometria, são exemplos eloqüentes. Evidentemente nenhuma dessas abstrações existe realmente. São criações de nossa mente.

A Fig. 1-2 ilustra essa abstração. O cruzamento das retas **A** e **B** definem o ponto **P**; e as duas retas definem um plano (que é o plano desta página). E mais, sem essas abstrações elementares da

geometria, como construiríamos prédios, navios, aviões, etc., já que a engenharia e a arquitetura fazem uso ostensivo dos conceitos?

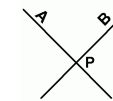


Figura 1-2: Ponto, reta e plano.

1.2 Platão e a Alegoria da Caverna

Há quase 400 anos antes de Cristo, o filósofo Platão descobriu e nos ensinou que não é possível apreendermos completamente o mundo em que vivemos, em função da complexidade deste e de nossas limitações enquanto humanos. Através de um belíssimo texto (PLATÃO, 2002), também contado por dois brasileiros geniais, pelo menos em minha opinião: Marilena Chauí (2004) e por Maurício de Souza (2004), Platão definiu a forma com a qual a ciência trabalha, e que é até hoje utilizada, a saber: como não é possível apreender-se completamente as coisas do mundo, a ciência contenta-se com modelos, os quais representam uma visão simplificada de mundo.

Um exemplo bem simples de modelo científico de fenômeno físico é a conhecida **Lei de Ohm** (estudada no ensino médio), $V = R \times I$, onde **V** representa a tensão (diferença de potencial elétrico) nos terminais de um resistor (resistência elétrica), **R**, e **I**, a corrente elétrica que por esse resistor passa. Segundo esse modelo, aceito cientificamente, para uma resistência elétrica de **1500 Ω**, e em cujos terminais se estabelece uma tensão de **1.5 V** (que é o valor nominal de uma pilha simples encontrada facilmente no mercado), faz passar uma corrente elétrica no resistor de valor **1.5/1500 Ampères**, ou **1/100 A**, ou ainda, **10 mA (miliampères)**.

No entanto, esse modelo, que funciona muito bem para baixas frequências, perde sua validade na medida em que a frequência é elevada (notadamente próxima à faixa de microondas), pois o resistor começa a exibir comportamento reativo (capacitivo e indutivo), ao contrário de puramente resistivo, como em baixas frequências. Em outras palavras, o modelo **Lei de Ohm**, como qualquer modelo científico, representa necessariamente uma versão reduzida da realidade, caso contrário, estaríamos contestando a Alegoria da Caverna, de Platão.

E é bom que assim o seja, pois o modelo tem que ser o mais reduzido possível, sob o risco de ficar inviável computacionalmente; e o mais complexo possível, sob o risco de nada representar do mundo físico. Um equilíbrio, então, é necessário entre simplicidade (para a sua viabilidade computacional) e complexidade (por ter de representar o fragmento do mundo que estamos interessados em estudar). E viva Platão, que há 2400 anos conseguiu **sacar essa**, coisa que a grande maioria de sua espécie (humana) não o conseguiu, não o consegue e, pelo andar da carruagem, não tem interesse em o conseguir.

Precisamos de modelos, portanto. São eles que compensam as nossas limitações (humanas) em sensoriamento e percepção do mundo em que vivemos. Como dito acima, não somos dotados de **equipamento** para ver movimento, mas sim de um que nos permite inferí-lo, ou construí-lo em nossas mentes. Saiu **mais barata**, essa solução, na evolução da espécie. Para inferir um segmento de reta entre dois pontos, só precisamos desses mesmos dois pontos, e não de todos os pontos (que seria um número infinito deles, claro) do segmento, pois entre eles conseguimos inferir um segmento de reta único. Como diz o meu amigo Maia (Prof. Luiz Fernando Jacintho Maia), **jamais se deve explicar tudo nos mínimos detalhes: seja porque nao precisa, seja porque não adianta**. Sendo redundante: ou a pessoa **saca**, ou **jamais irá entender**. E viva o Maia.

1.3 Fenômeno da Emergência

Há fenômenos que **brotam** espontaneamente, **nascem** naturalmente, enfim, que **emergem**. Como a vida na Terra, que me perdoem os criacionistas. Quando Charles Darwin, Fig. 1-3, publicou seu trabalho sobre a Teoria da Evolução via Seleção Natural (Darwin, 1981), estabeleceu-se uma divisão entre correntes de pensamento opostas: **criacionismo** e **evolucionismo**.



Figura 1-3: Charles Darwin.

Fonte: <http://www.the-scientist.com/images/yr2002/feb04/darwin.jpg>, 06 mar 2004.

O criacionismo não abrindo mão das razões religiosas da Criação, Fig 1-4, e, o evolucionismo incluindo as evidências científicas explicitadas por Darwin. É claro que ainda há criacionistas, mas seu percentual, entre biólogos, por exemplo, é muito pequeno. Antonio Damasio (2004), que é evolucionista, tem afirmado que **Deus é a maior criação do ser humano**, explicitando a diferença entre a importância da religião (que ele não nega) e a necessidade de sua separação da ciência.



Figura 1-4: Crítica dos Criacionistas.

Fonte: <http://www2.amal.k12.nf.ca/rhodder/Grade9/evolution/darwin.gif>, 06 mar 2004.

Gould (1989) "Wonderful Life"

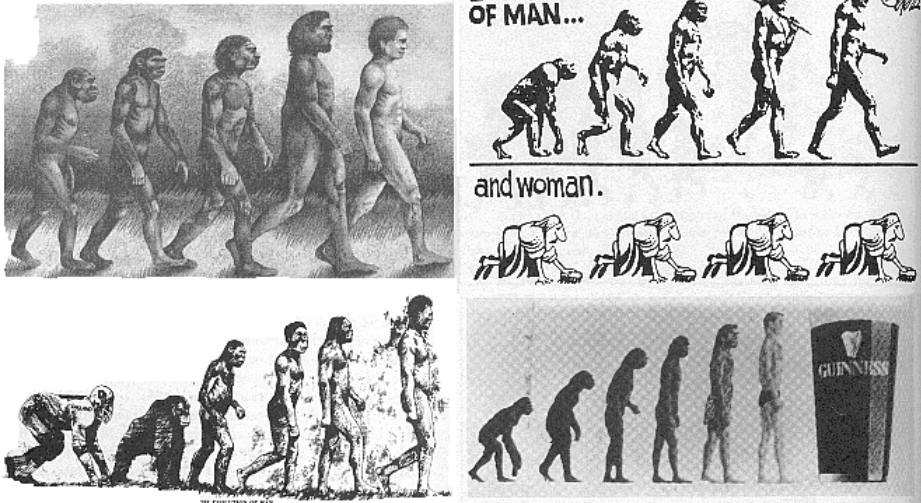


Figura 1-5: Carona da evolução.

Fonte: http://www.mun.ca/biology/scarr/Gould_Wonderful_Life.gif, 06 mar 2004.

A vida na Terra é um exemplo espetacular do **fenômeno da emergência**. Simplesmente **emergiu** a partir de condições favoráveis a isso. E mais, sobre várias formas. Supõe-se que esse

fenômeno tenha emergido, em sua forma mais primitiva, há pouco mais que 3 bilhões de anos. De altos e baixos, como extinções de espécies e emergência de outras, a evolução se nos apresenta com essa diversidade biológica que hoje assistimos. De macacos a golfinhos, de leões a amebas, de camarões a cavalos, de elefantes a borboletas, etc. Todos trilharam seus caminhos até chegar ao que hoje vemos. É claro que as críticas não se limitaram à própria Teoria da Evolução, como ilustra a Fig. 1-5 e a Fig 1-6 (GOULD, 1990).

Stephen Jay Gould foi um paleontólogo evolucionista, da Harvard University, que morreu aos 60 anos, em 21 de maio de 2002, escreveu um livro extraordinário sobre Evolução (GOULD, 1990). Era um dos mais famosos divulgadores científicos deste do final do século 20.

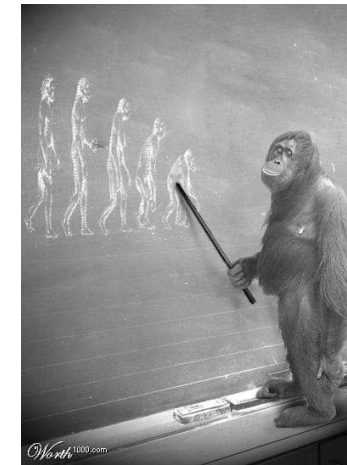


Figura 1-6: A evolução do Macaco.

Fonte: <http://www.worth1000.com/view.asp?entry=41836&display=photoshop>, 06 mar 2004.

Há algo em comum a todas as formas de vida? Há. Células, por exemplo, que possuem a propriedade de se reproduzir e de se especializar. Mas células são feitas de moléculas que não se reproduzem e que, por sua vez, são feitas de átomos, que também não se reproduzem. Átomos se organizam de tal sorte a formarem

uma molécula. Moléculas se organizam de tal maneira a fazer emergir uma célula. O mais impressionante é que uma propriedade da célula, a reprodução, não é observada em nenhum de seus componentes (moléculas). O que é isso? Mágica? Não, é o **fenômeno da emergência**.

Há um texto de Henri Atlan, com excelente tradução (ATLAN, 2004), onde o conceito de vida é tratado de forma bem didática, trazendo as propriedades dos seres vivos. Claro que há organismos unicelulares (compostos de uma única célula: prefiro ser redundante). Neste caso a célula é um ser vivo, claro. Como a célula é feita de moléculas e estas não constituem seres vivos, temos outra propriedade da célula que não é observada em seus componentes.

Um outro exemplo é a molécula de água, que emerge da organização entre dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, **H₂O**, que tem a propriedade de apagar fogo, enquanto seus dois componentes são gases inflamáveis.

Chamando de **sistema** o todo que emerge a partir da organização de seus **componentes**, esses dois exemplos são suficientes para poder-se formular a seguinte questão:

Como é possível estudar-se as propriedades de um sistema, estudando-se apenas as propriedades dos seus componentes?

Mais especificamente, como se pode compreender a reprodução da célula, estudando apenas as propriedades de suas moléculas componentes? E como se pode compreender o fato da água apagar fogo, estudando-se apenas seus gases componentes inflamáveis?

Bertalanffy (1969) nos ensinou que seria interessante que houvesse uma disciplina onde a questão do todo (**sistema**) fosse abordado com mais ênfase e também que determinadas características observadas em um sistema talvez pudessem ser observadas em outro, o que seria muito bom em se tratando

estudos de diversos sistemas nas mais diversas áreas do conhecimento. Dai, então, cunhou a expressão, que acabou virando a disciplina **Teoria Geral de Sistemas**, objeto deste texto.

Varios exemplos de emergência podem ser facilmente verificados. A abundância desses exemplos nos permite exercitar melhor nossa compreensão sobre o referido fenômeno. O próprio Johnson (2003) notou uma feliz coincidência entre o mapa da cidade de Hamburgo com um diagrama do cérebro, ilustrado na Fig 1-7 e Fig. 1-8, além de outros exemplos.

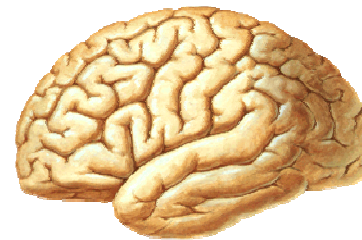


Figura 1-7: Diagrama do cérebro

Fonte:
<http://www.usd.edu/eric/graphics/brain.gif>

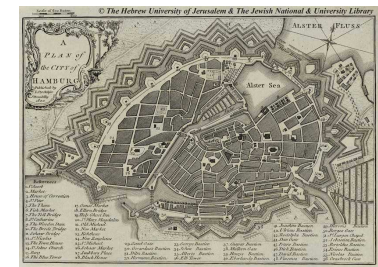


Figura 1-8: Mapa antigo de Hamburgo

Fonte: http://historic-cities.huji.ac.il/germany/hamburg/maps/stockdale_1800_hamburg_m.jpg

O conceito de emergência, no entanto, é restrito a fenômenos que surgem de baixo para cima, ou Bottom-Up, isto é, quando os componentes se organizam "espontaneamente", naturalmente, sem obedecer a nenhuma "ordem" superior. Sem nenhum "chefe" para obrigá-los a fazê-lo. Steven Johnson, em seu excelente livro Emergência (Johnson, 2003) descreve essa característica da emergência, de forma bem didática, ao tratar do *Dictyostelium discoideum*, Fig 1-9,



Figura 1-9: Joan caçando *Dictyostelium discoideum* silvestre

Fonte: <http://www.ruf.rice.edu/~evolve/Pictures/Lab%20photos/Joan-diggin.jpg>

uma espécie de fungo em que se agregam uns aos outros em uma massa compacta, quando há escassez de alimento e que se desagrega quando há fartura:

Durante algum tempo, os pesquisadores achavam que as células do 'discoideum' liberavam uma substância comum chamada acrasina (também conhecida como AMP cíclico), que, de algum modo, participava do processo de agregação. Porém, até Keller iniciar suas pesquisas, a crença era geral era a de que as agregações do 'discoideum' se formavam pelo comando de células líderes, que ordenavam que as outras células comessem a se agregar. Em 1962, B. M. Shafer, de Harvard, mostrou de que maneira os 'líderes' podiam usar o AMP cíclico como um sinal para reunir a tropa; os generais 'líderes' liberariam os compostos nos momentos apropriados,

*desencadeando ondas de AMP cíclico, o qual se espalhava por toda a comunidade, à medida que cada célula isolada transmitia o sinal para as vizinhas. A agregação do '*Dictyostelium discoideum*', na verdade, era um gigantesco jogo de telefones sem fio, mas apenas algumas células de elite faziam a chamada inicial.*

*Parecia uma explicação razoável. Nós estamos naturalmente predispostos a pensar em termos de líderes, quer falemos de fungos, sistemas políticos ou nossos próprios corpos. Nossas ações parecem ser governadas, na maior parte dos casos, por células líderes e, durante milênios, fomentamos elaboradas células líderes em nossas organizações sociais, seja na forma de reis ou ditadores, ou até de vereadores. A maior parte do mundo à nossa volta pode ser explicado em termos de hierarquias e sistemas de comando - por que seria diferente com o '*Dictyostelium discoideum*'?*

Contudo, a teoria de Shafer tinha um pequeno problema: ninguém conseguia encontrar os tais líderes. (...) Em um artigo publicado em 1969, Keller e Segel argumentaram que, se cada célula separada simplesmente liberasse AMP cíclico com base em sua própria avaliação local das condições gerais, então a comunidade maior poderia muito bem ser capaz de se agregar com base em mudanças globais no ambiente - tudo isso

sem que uma célula líder tomasse a iniciativa. (...) 'Fico surpresa ao ver como as pessoas acham difícil pensar em termos de fenômeno coletivo', acrescenta Keller.

O texto de Johnson é didático ao nos explicar o fenômeno da emergência e sua dificuldade em ser aceita pela cultura arraigada na espécie humana. Certamente você já viu algo como a Fig. 1-12.

Apesar de nós mesmos custarmos a acreditar, a emergência existe, está aí, e pode ser vista no nosso próprio dia-a-dia, como é o caso da revoada de pássaros, ilustrada na Fig. 1-12, que pode fazer emergir uma belíssima figura geométrica no céu. Nenhum dos pássaros tem a menor "idéia" que está criando tal figura. E, no entanto, cada um deles dá a sua parcela de contribuição para a emergência dessa figura geométrica que tanto nos encanta ao a contemplarmos.

Henri Atlan, em seu belíssimo texto "Viver e conhecer", que recebeu uma não menos bela tradução para o português do Brasil (ATLAN, 2004), descreve a emergência da consciência, por uma auto-organização de neurônios,

Conjunto de células (neurônios) pode se auto-organizar e apresentar propriedades cognitivas (consciência) mesmo que nenhum destes neurônios conheça nem compreenda o que quer que seja.

Veja que a consciência possui propriedades cognitivas (aprendizagem) e neurônios não as possui (são simples células).

No dia-a-dia das grandes cidades também é possível visualizar-se o fenômeno da emergência com bastante frequência. Em meio ao caos urbano, causado pelo excesso de veículos, causando danos respiratórios decorrentes da emissão de dióxido de carbono, (CO₂), resultante da queima de combustível fóssil, alguns fenômenos emergentes podem ser observados e, até, simulados. Um desses fenômenos de emergência ocorre em **movimento coletivo** de

veículos em determinadas situações, principalmente na hora do **rush**. Martin Treiber, pesquisador de Dinâmica de Tráfego da Universidade de Stuttgart, conseguiu simular e descrever (TREIBER, 2004) um fenômeno que emerge quando filas de engarrafamentos de veículos pode produzir um movimento de propagação para trás, ou retro-propagação (no sentido contrário ao tráfego dos veículos), causado pelo acendimento sucessivo das luzes de freio dos veículos engarrafados, Fig 1-10. Para resumir a descrição desse fenômeno serão feitas algumas suposições bem razoáveis, como a seqüência elaborada a seguir:

1. *Suponha que você dirige a 112 km/h em uma auto-pista em uma fila de veículos (teoricamente) com a mesma velocidade, Fig. 1-11.*
2. *Suponha, também, que você esteja a 2s atrás do carro da frente, e que esta mesma distância seja constante entre os demais veículos.*
3. *Com as duas suposições acima, é razoável que você esteja a cerca de 60m atrás do da frente, o mesmo acontecendo entre os demais veículos.*
4. *Supondo-se, ainda, que você (como todos os demais motoristas) esteja atento à direção e que, ao perceber que o motorista do carro que está em sua frente breiou (para quem ainda não tirou a carteira de motorista, isso é percebido pela luz de freio que acende), o seu tempo de reação para também breicar seu veículo*

fica em torno de 200 ms (1/10 do tempo que o separa do da frente).

5. Sua freada e as dos demias motoristas dessa fila provoca uma perturbação (uma seqüência acender lâmpadas de freio) que se propaga para trás (primeiro é o motorista que puxa a fila, depois o segundo, e assim por diante ...).
6. Essa perturbação se propaga a uma velocidade quase dez vezes maior que a velocidade do comboio (e ainda no sentido contrário), ou seja, a de cerca de

1000 km/h



Figura 1-10: Propagação para trás.

Fonte: <http://veja.abril.uol.com.br/vejasp/230800/imagens/capa46.jpg>, 08 mar 2004.

O fenômeno da emergência, portanto, é fenômeno **não teleológico**, isto é, não é dirigido por um objetivo final. Em outras palavras, fez surgir um sistema sem que houvesse qualquer tipo de projetista do mesmo. Simplesmente, como o próprio nome o diz, o fez **emergir**. Como um golfinho quando emerge à superfície da água, como ilustrado na Fig. 1-11. É o caso, também, do voo coletivo de pássaros, ilustrado na Fig 1-12.



Figura 1-11: Golfinho emergindo à superfície da água.

Fonte: <http://www.sociais.ufpr.br/~dirce/cursos/photo/imagens/mar%EDtimos/golfinho.jpg>, 10 mar 2004.



Figura 1-12: Voo coletivo de pássaros

Fonte: <http://www.armonkoutdoorartshow.org/images/gallery/TBirdsInFlight.jpg>, 10 mar 2004.

1.4 O Sistema e Seus Componentes

Infelizmente, nem todo sistema emergente, ou não teleológico, tem função prática. Como o próprio Johnson (2003) diz, referindo-se aos objetivos declarados estudados em seu belo livro, que inclui,

dentre outros, os aspectos cognitivos que emergem no que se chama mente humana, oriundos da rede neuronal:

A complexidade emergente sem adaptação é como os intrincados cristais formados por um floco de neve: são bonitos, mas não tem função. As formas de comportamento que examinaremos neste livro (JOHNSON, 2003) mostram a qualidade distintiva de ficarem mais inteligentes com o tempo e de reagirem às necessidades específicas e mutantes de seu ambiente.

Dessa citação de Johnson, pode-se considerar polêmica a expressão "... ficarem mais inteligentes com o tempo ...", pois o conceito de inteligência ainda é uma questão em aberto na literatura. Quanto ao restante da citação, nada a acrescentar, uma vez que ela se refere tão somente à características do fenômeno da emergência, e de sua importância para a **adaptação**, necessária à preservação das espécies.

Como já afirmado, a emergência nos oferece a construção de sistemas (células, moléculas, organismos, Cataratas do Iguaçu, etc.) não teleológicos, não planejados, não dirigidos por um objetivo final. Em resumo, a construção realizada pela emergência é do tipo bottom-up, de baixo para cima, isto é, decorre da auto-organização de seus componentes e das condições favoráveis à mesma, e usando o tempo que for necessário para a construção. Em suma, nada de projeto ou planejamento prévio.

E observe que, para a grande maioria dos seres vivos, os sistemas emergentes (não teleológicos), como os ecossistemas, são suficientes para garantir a possibilidade de sua sobrevivência e reprodução, exigências básicas para a preservação de suas espécies.

Mas, para alguns poucos seres vivos, os sistemas teleológicos (dirigidos por objetivo final, por projeto, por planejamento, etc.) são necessários, quando não imprescindíveis à sua sobrevivência e reprodução e, por conseguinte, à preservação de suas espécies.

Mas, afinal, o que é um sistema? Usa-se essa expressão diuturnamente. O que dizem os dicionários? É claro que se pode compreender o que seja **um sistema** de forma bem ampla, como sendo **uma coleção de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência** (ZADEH; POLAK, 1969). Já uma definição para um sistema específico, como um sistema dinâmico invariante no tempo, por exemplo, há que conter um caráter mais formal. Neste texto a definição ampla, dada por Zadeh, é suficiente.

Para que isso fique de mais fácil compreensão, considere a Fig. 1-13. Observe a representação em camadas. Em cada camada há componentes, não necessariamente iguais, mas sim de mesmo nível, que se organizam de tal sorte a fazer surgir um todo funcional na camada imediatamente superior. Neste exemplo, apenas três camadas são ilustradas. Mas essa restrição se deve, primeiro, ao tamanho da página e, também, por provocar overflow em nossa mente, caso usássemos mais delas. Em princípio, o número de camadas pode crescer tanto para cima quanto para baixo, permitindo um número infinito delas.

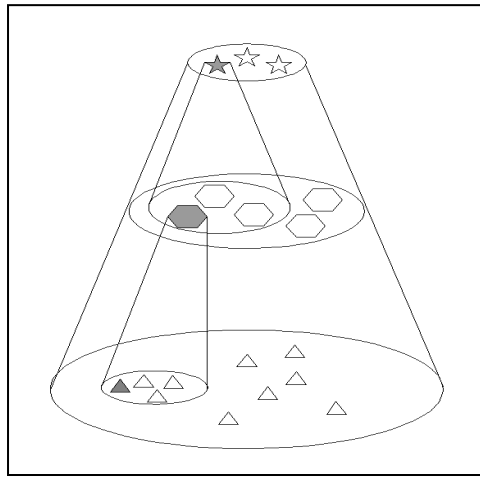


Figura 1-13: Representação hierárquica de sistemas.

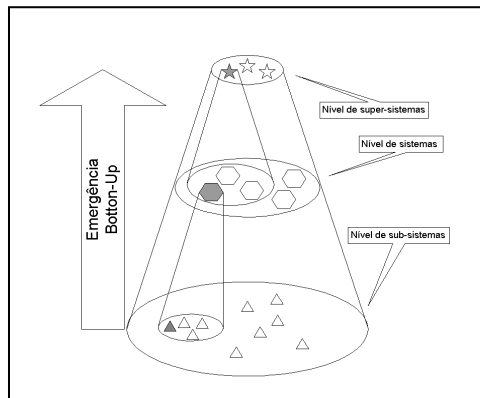
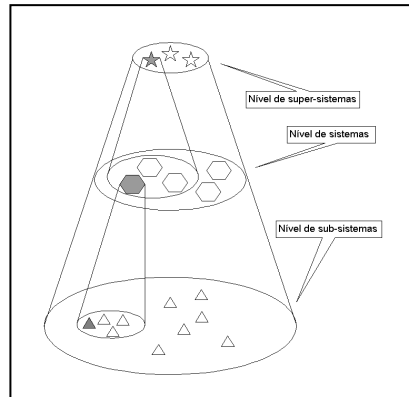
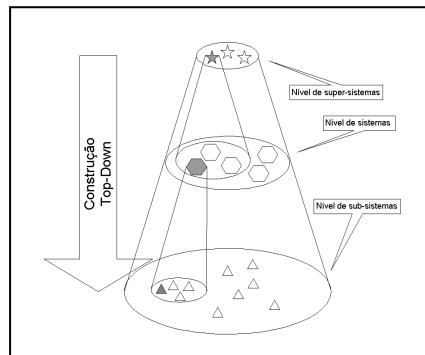


Figura 1-15: Emergência: construção **bottom-up**.



Na Fig. 1-14, e considerando-se apenas três camadas, denomina-se a do meio como o **nível hierárquico de sistemas**. Cada peça nesse nível hierárquico é um sistema, que foi construído da organização (ou auto-organização) de seus componentes (**sub-sistemas**)

Figura 1-14. Três níveis hierárquicos situados na camada imediatamente inferior, ou seja na camada representativa do **nível hierárquico de sub-sistemas**. Finalmente, no nível de sistemas, algumas peças (**sistemas**) podem se organizar (auto-organizar) e fazer surgir (construir) um outro todo funcional, denominado de **super-sistema** na camada imediatamente superior, representativa do **nível hierárquico de super-sistemas**.

Na Fig. 1-15, a representação diagramática do fenômeno da emergência. Observe que a construção do sistema se dá, sempre, de baixo para cima (**bottom-up**), pela auto-organização de seus componentes. Sendo que a construção emergente (**bottom-up**) é feita de um nível hierárquico para outro imediatamente superior. Por exemplo, do nível de sub-sistemas para o nível de sistemas, ou do nível de sistemas para o nível de super-sistemas, como indica a seta na Fig. 1-16. É dessa forma que emergem sistemas como moléculas, células, órgãos, organismos, Ecossistemas, vulcões, galáxias, etc.

Figura 1-16. Por fim, a Fig. 1-17, que traz a construção de sistemas na forma de Projeto: **top-down**, através de projeto, planejamento. Tal tipo de construção se dá sempre de um nível hierárquico para outro imediatamente inferior. Por exemplo, do nível de super-sistemas para o de sistemas, e deste para o de sub-sistemas. Sistemas deste tipo incluem Sistemas de Informação, Sistemas de Transporte Coletivo Urbano, Sistemas de Saúde, Sistemas Macroeconômicos, Geladeiras, etc.

Na escala da evolução, os primeiros organismos necessitavam tão somente de sistemas construídos de forma **bottom-up** (emergentes), incluindo os próprios. Nem poderia ter sido diferente, uma vez que para tal, esses organismos precisariam, primeiro, adquirir a capacidade de elaborar planos, projetos, para construir esses sistemas **top-down**. Enquanto não eram capazes de tal proeza, eram obrigados a conviver apenas (apenas? é pouco?) com sistemas emergentes.

Quando o ancestral da espécie humana virou bípede, seus membros, então, anteriores (hoje são membros superiores) foram

liberados da tarefa de caminhar. Bastariam os membros posteriores (hoje inferiores). deste ponto até aprender a construir ferramentas, o passo foi curto (considerando-se a escala da evolução).



Figura 1-17: Objetos de pedra lascada.

Fonte: ?????



Figura 1-18: João-de-Barro e sua casa.

Fonte: ????

Tal habilidade (construir ferramentas), fundamental para, por exemplo, a espécie humana deixar de ser nômade, foi, quem sabe, a primeira em que a usou para construir sistemas teleológicos, como já na Era da Pedra Lascada, ilustrada na Fig 1-17.

Talvez sejam esses objetos os primeiros sistemas teleológicos construídos pela espécie humana. Hoje há um sem número desses sistemas. E, a cada criação de um novo, há possibilidade de uso generalizado pela espécie humana culminando, em certos casos, com uma dependência completa dos mesmos. Para o ser humano urbano, por exemplo, alguns desses sistemas incluem telefonia, refrigeração para conservação de alimentos, inseminação artificial para produção de alimentos, e queijos. Mas, como já mencionado, isso não é privilégio humano.

Jamais saber-se-á exatamente quantos organismos emergiram na escala da evolução. A razão é muito simples: paleontólogos continuam descobrindo fósseis de organismos de espécie desconhecida. Além disso, sabe-se já que houve períodos de extinção de espécies, o que reforça a idéia de que jamais conheceremos exatamente esse número. E muito menos o número desses organismos com capacidade de construir sistemas **top-down**, seja por instinto, seja por capacidade cognitiva exacerbada, como presenciamos, hoje, a ave João-de-Barro, ilustrado na Fig. 1-18, além, claro, do ser humano, o qual não necessita de qualquer ilustração.

Estou convencido de uma definição mais fraca da capacidade de organismos construir sistemas top-down, incluindo assim os animais ditos irracionais (com ações humanas terroristas tão comuns, e cujo fanatismo de Estado ou de indivíduos se igualam, desconfiamos de que a classificação do ser humano como racional pode não estar correta), é mais prudente, do que fortalecê-la para contemplar apenas humanos. Uma definição mais fraca é mais razoável, eu dizia, uma vez que projeto e desenvolvimento de qualquer sistema teleológico, exige uma especificação formal, utilizando-se uma linguagem formal (uma linguagem onde cada

sentença não permita mais que uma interpretação, não permita ambigüidade). Seja um sistema de computação, seja uma edificação para criação de animais para abate, ou qualquer outro.

Costumo brincar com meus amigos da área de Ciências Humanas (como diria meu amigo, Maia: seriam as demais ciências, desumanas?), quando me acusam de reducionista, que se eles fazem ciência, também são reducionista, a menos que neguem o método científico, escancarado há 2.400 anos, por Platão, em sua Alegoria da Caverna (PLATÃO, 2002).

É claro que o formalismo impõe uma redução da realidade, já que o objetivo é encontrar-se modelos que nos permitam, computacionalmente, fazer previsões. Um modelo sempre tem sua validade limitada. Por um lado, por restringir-se a aspectos limitados do mundo, e por outro, porque pode tornar-se ultrapassado por outro modelo melhor elaborado. É assim que se constroi o conhecimento científico.

Temos, então, uma visão introdutória sobre um sistema e seus componentes, no que diz respeito à sua construção: **emergentes (bottom-up)** ou **teleológicos (top-down)**.

1.5 Visão Sistêmica

Um pouco de História da Ciência ajuda a compreender como as idéias evoluíram e como se chegou à necessidade de ter-se uma visão sistêmica de nosso mundo e de nossa relação com o mesmo. A visão sistêmica é tão importante que sem ela, e para usar um ditado polular, não conseguir-se-ia enxergar além de um palmo à frente do próprio nariz. Para começar, considere a Astronomia.

Na medida em que os ancestrais do ser humano moderno foi evoluindo e desenvolvendo habilidades cognitivas, sua necessidade de compreensão do mundo foi ampliando. E é obvio que questões diurnas o fossem intrigando cada vez mais. Assistindo o Sol nascer, passar sobre sua cabeça e se por, para só

aparecer no dia seguinte. E, trocando o dia pela noite, coisas similares acontecendo com Lua, Fig. 1-19. Ocorrência essa que durava toda a vida do espécime. Portanto, o mais popular dos eventos periódicos assistidos na época.



Figura 1-19: Sol e Lua.

Fonte: <http://www.usborne-world.com/images/Sun%20Moon%20Stars.jpg>, 20 mar 2004.

Seria natural e lógico que o novo organismo (ser humano), já dotado de habilidades cognitivas, se sentisse desafiado a compreender o porque de tais acontecimentos. Há registro de estudos astronômicos já na Mesopotâmia (BASSALO, 2004). E isso ocorre há mais de 3.000 anos a.C., o que não deixa de ser surpreendente.

Os Incas, no Perú, povo destroçado pelos invasores espanhóis possuíam um avançado conhecimento sobre Astronomia, e os usavam para suas atividades públicas e religiosas. Faziam previsões de eclipses, etc. O mesmo se dando com os Aztecas, no México, também arrebatado pelos mesmos "conquistadores". Portanto, não é apenas a chamada civilização ocidental (européia) que detém esse privilégio, como sabemos.

E você, ao olhar para o céu, em noite enluarada, é capaz de estimar a posição do sol? E, caso você não houvesse aprendido na escola

que a Terra gira em torno do Sol, seria capaz de afirmá-lo, apenas com a observação? Há que se admitir que esse problema não é tão simples assim. Mas há uma forte razão para essa dificuldade: nosso tamanho em comparação ao do Sistema Solar, Fig 1-20.

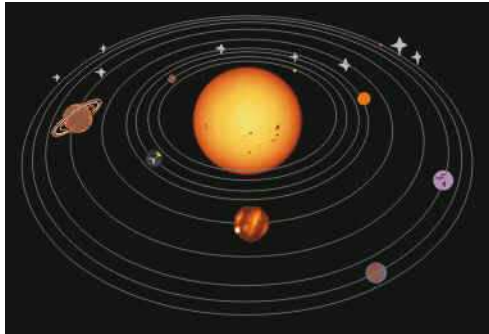


Figura 1-20: Sistema Solar

Fonte: <http://www.iac.es/gabinete/difus/ciencia/annia/images/ss.jpg>, 30 abr 2004.

Caso pudessemos observar o sistema sobre uma mesa de laboratório, a constatação seria imediata. Mas nossos tamanhos relativos não nos permitem fazê-lo de imediato, o que exige outras formas (indiretas) de verificação.

No caso da Astronomia, há que se ter uma visão macro. Mas, também, há sistemas que exigem uma visão micro, como é o caso de modelos de DNA (Ácido Desoxirribonucléico), uma molécula constituída por 2 polímeros (cadeias ou fitas) de nucleotídeos (CEFET Química, 2004).

Há uma forte tendência, neste começo de século, para uma convergência entre as diversas áreas do conhecimento científico. Isso porque esse conhecimento não é estanque, isto é, as diversas áreas de conhecimento não são casulos incomunicáveis. Uma visão sistêmica, portanto, urge.

Como afirmado acima, sem uma visão sistêmica, não enxergaríamos além de um palmo à frente do nariz. Uma disciplina, então, se faz necessária, de sorte a nos permitir ver o

todo e não apenas as partes. Essa disciplina é a Teoria Geral de Sistemas, objeto deste texto.

A Teoria Geral de Sistemas nos fornece um conjunto de ferramentas para que possamos compreender o todo de um sistema, independentemente de seu tamanho relativo a nós mesmos e da área de conhecimento à qual pertence.

Este texto está assim organizado. O capítulo 1 é esta Introdução; o capítulo 2 trata da Concepção de Sistemas; o capítulo 3 aborda os Componentes, Características, Tipos, Classificação de sistemas; o capítulo 4 trata dos Conceitos Gerais relativos a sistemas; o capítulo 5 aborda Modelos de sistemas; o capítulo 6, trata de Estados e Estabilidade de sistemas; e, finalmente, o capítulo 7, Aplicações.

2 Concepção de Sistemas

Neste capítulo você verá como é possível e necessário ter-se uma visão sistêmica. E como essa visão do todo pode ajudar na compreensão do mundo que nos cerca.

a. Ver o iceberg todo

Sou simpático à idéia de considerar um sistema como um **iceberg**, Fig 2-1, do qual a parte visível é a que está acima da superfície da água e, em geral, a maior parte - a que está submersa - não é alcançada pelos nossos olhos. Há que se obter ferramentas adequadas à visualização do sistema (**iceberg**) todo.

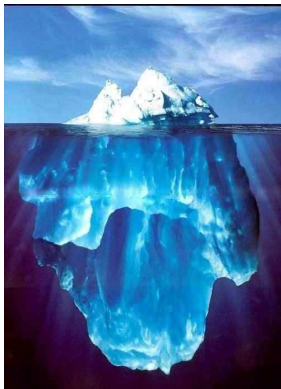


Figura 2-1: Sistema como um iceberg.

Fonte: <http://www.jb.man.ac.uk/~drl/download/iceberg.gif>, 24 mar 2004

Gostaria de iniciar este capítulo 2, sobre a **Concepção de Sistemas**, trazendo alguns exemplos contemporâneos. Tais exemplos ilustram a facilidade com a qual se enxerga (ou com

que nos forcamos a isso) a parte visível do **iceberg** (sistema) e, também que, para enxergar-se o **iceberg** todo, incluindo a **parte submersa** (impossível de ser alcançada através de uma passada d'olhos), é necessário utilizar-se ferramentas adicionais. O conhecido **ver-pra-crer**, ou **teste-São-Tomé**, que tantas vezes se ouve dos descrentes (só confiantes naquilo que os próprios olhos vêem), é uma balela. Espero que os exemplos, de fato, o ilustrem.

Para quem viveu durante a chamada **guerra do Vietnã**, de memória tão triste, principalmente para os inocentes, foi testemunha de seus horrores, como é o caso da menina atingida por uma bomba conhecida como **NAPALM** (substância contendo Na - sódio, P - fósforo, Al - alumínio, e M - magnésio) que, em combustão, chega a temperaturas de 900°C a 1300°C, provocando queimaduras de primeiro, segundo e terceiro graus (HASHIMOTO, 2004), Fig. 2-2. Nessa guerra, como em tantas outras, a população civil pagou o preço da insanidade de quem se acha dono planeta. Quem viveu no período dessa guerra, e conseguiu acompanhá-la pela imprensa dita ocidental (tal imprensa só divulgava as notícias oriundas do invasor, EUA; jamais eram confrontadas com as dos vietnamitas, invadidos), pode observar o quanto essa imprensa pode manipular a opinião pública.



Figura 2-2: Menina vietnamita após ser atingida por Napalm.

Fonte: <http://www.ratak.com/modules/images/napalm.jpg>, 24 mar 2004.

Todos os dias a grande imprensa brasileira (ocidental, claro, pois ninguém é de ferro) relatava o número de baixas dos vietnamitas, e quase nunca dos norte-americanos. Para todos os efeitos, os EUA estavam ganhando a guerra, pois **(esta era a parte visível do iceberg)**. Para surpresa desse público, não houve como essa imprensa não mostrar a fuga dos norte-americanos, quando os vietnamitas os colocaram, literalmente, **para correr**, Fig. 2-3. O que se viu, então, foi uma fragorosa derrota da maior potencia militar do planeta Terra para um país de maltrapilhos **(essa era a parte submersa do iceberg todo)**. Os nossos olhos não o viam, ou os donos do planeta não nos deixavam ver. **Êta teste-São-Tomé!**



Figura 2-3: EUA perdem a guerra do Vietnam: fuga.
Fonte: <http://www.greenberet.net/Hangar/Partners.html>, 24 mar 2004.

O jornalista brasileiro, correspondente da Rede Globo, Carlos Dorneles, Fig. 2-4, explica como a imprensa e os governos exercem uma relação incestuosa, pecaminosa, contra o seus públicos **(em esforço conjunto para mostrar, propositalmente, apenas a parte visível do iceberg)**, o que vai contra a razão de ser de suas (governo e imprensa) existências (DORNELES, 2002).



Figura 2-4: Jornalista Carlos Dorneles.

Fonte: <http://redeglobo6.globo.com/Globoreporter/0,19125,TOK0-2706-174-4-0,00.html>, 24 mar 2004.

No livro, que abrange as invasões norte-americanas **(ói eles aí, de novo)** no Afeganistão e no Iraque, Dorneles mostra as entranhas dessa milionária parceria entre imprensa e governo. Alguns fragmentos do livro de Dorneles são reveladores **(da parte submersa do iceberg)** dessa vergonhosa parceria contra a humanidade (DORNELES, 2002, pág. 194).

Desde que os japoneses foram transformados nos "sanguinários amarelos do oriente", na Segunda Guerra mundial, nenhum outro país sofreu um massacre de propaganda tão intenso quanto o Iraque (...). Naquele mesmo dia (11 de setembro) em que as torres desabaram, os jornais brasileiros e os americanos davam notinhas sobre um atentado ao país. Aviões americanos e britânicos participaram do bombardeio. Onze civis morreram, disse o governo iraquiano. Eram soldados, afirmaram os Estados Unidos. O motivo do ataque: represália americana porque um avião-espião não tripulado tinha sido abatido pelos iraquianos. Não importava muito - mortes no Iraque não são notícias relevantes há muito tempo (...).

Quatro dias depois (*da derrubada das torres*), o 'Estadão', baseado em notícias de agências, publicou matéria com um título retumbante: "Sadam pode ter ajudado terroristas" (...). As fontes foram um ex-diretor da CIA e "uma perita em Iraque", Laurie Mylroie, Analista do American Enterprise Institute (...).

Passados três dias, as agências de notícias distribuíram um artigo de Laurie Mylroie. Ela afirma que os atentados não poderiam ser cometidos sem o apoio de um aparato estatal, no caso, o do Iraque (...). Nenhuma prova ou indício sequer é apresentado no texto. Detalhe: o American Institute Enterprise é um instituto ultraconservador ligado ao vice-presidente americano, Dick Cheney.

O Afeganistão ainda não era um alvo certo. O Iraque precisava ser construído como o inimigo a ser atacado (...).

O livro de Dorneles fala por sí, como dá para perceber com apenas esses fragmentos. Sobre esse tema, gosto de recorrer ao meu amigo Nilson Lage, Fig. 2-5, pesquisador e professor de Jornalismo da Universidade Federal de Santa Catarina, que costuma dizer o porquê de abominar a expressão **comunicação de massa** (expressão criada para a técnica da notícia mostrar a apenas a parte visível do iceberg).



Figura 2-5: Prof. Nilson Lemos Lage.

Fonte: http://www.gersonmartins.jor.br/nilson_lage1.jpg, 24 mar 2004.

E porque ele afirma que o papel do Jornalismo impõe o uso da expressão **comunicação de públicos**. Segundo Lage, **massa a gente molda, manipula. E público a gente consulta**. Em outras palavras, a manipulação de massa conta com o respaldo do nome oficial dos cursos de Comunicação, novo nome dado aos cursos de Jornalismo, afirma Lage. Seu livro (LAGE, 2001) é uma referência no Jornalismo. Em uma citação ilustrativa (MORETZSOHN, 2004), é possível ver seus valiosos argumentos:

Vinculada à idéia de "imparcialidade", a objetividade costuma ser encarada como requisito básico para o exercício do "bom jornalismo". Nilson Lage considera, entre as vantagens desse procedimento, "o compromisso com a realidade material, a aceleração do processo de produção e troca de informações e a denúncia das fórmulas arcaicas de manipulação do texto". Assim, "a proposta de uma linguagem absolutamente transparente, por trás da qual se apresentasse o fato íntegro, para que o leitor produzisse o seu

juízo, conduziu os jornalistas a uma atitude de indagação e lhes deu, em certas circunstâncias, o poder de buscar o seu próprio ponto de equilíbrio, desenvolvendo um conceito de verdade extraído dos fatos com o extraordinário poder de convencimento dos próprios fatos" (LAGE, 2001).

Está aí, talvez, a matriz do pensamento que justifica a defesa da "objetividade" (e consequentemente do "profissionalismo") contra a "manipulação", que, agora, livre das "fórmulas arcaicas", modernizou-se: tornou-se invisível. Impossível, evidentemente - como o próprio autor reconhece -, falar de "linguagem absolutamente transparente". Como, então, uma tal ficção poderia ajudar na formulação de ações concretas?

A explicação talvez esteja no contexto político em que a proposição foi formulada. Não se pode esquecer que Lage escreveu seu livro durante a ditadura, nos anos 70, quando a atividade jornalística no Brasil estava sob censura. Argumentar que "os fatos falam por si", apesar do que haja de contradição lógica (pois obviamente os fatos não falam, quem fala é quem os identifica como importantes e os traduz como notícia), é uma forma de apresentá-los como "neutros" e, assim, inversamente, utilizá-los politicamente

contra quem os quer silenciar. Se raramente era possível divulgar a informação inconveniente, pelo menos obrigava-se o censor a mostrar a tesoura.

Do mesmo modo, hoje que o poder de censura passou - ou melhor, retornou - às mãos dos empresários, defender a "objetividade" e o "profissionalismo" seria uma forma de reagir aos interesses comerciais que cada vez mais se impõem (...).

Um outro exemplo, ainda com a maior potência militar da Terra (bem feito, quem mandou ser a maior?), é o argumento mentiroso da existência de armas de destruição em massa para justificar a invasão norte-americana/britânica no Iraque. Argumento esse reforçado por outro, no mínimo, dúbio: os EUA não poderiam permitir mais a existência de uma ditadura sanguinária, como a de Sadam Hussen.



Figura 2-6: Filme de Costa-Gavras sobre o golpe de 1973, no Chile.

Fonte: <http://www.impawards.com/1982/missing.html>, 24 mar 2004.

A dubiedade referida está nos apoios históricos a tantas outras ditaduras sanguinárias, como a de Pinochet, retratada em

filme, Fig. 2-6, no Chile, (que derrubou Allende, democraticamente eleito, colocando em seu lugar a sangrenta ditadura de Pinochet), e a de Somoza (outro ditador sanguinário, apoiado pelos EUA), na Nicarágua. Sem falar no apoio ao golpe militar de 1964, no Brasil, e em outros países, não apenas no cone sul, mas em praticamente toda a América Latina. Como visto, tudo isso com o **apoio bacana** da até hoje chamada grande imprensa.

Daí que, informar-se no dia-a-dia (lendo jornais, assistindo noticiário de TVs, ou ouvindo-os pelo rádio), pode não ser suficiente para enxergarmos o **icerberg** inteiro. É preciso desconfiar, sempre, e estar atento a fatos que, a partir de uma boa pensada, pode-se inferir a verdade. Ou, pelo menos, chegar-se mais próximo dela. É o que o jornalismo investigativo deveria fazer. Caso contrário você pode estar sendo enganado, Fig. 2-7. E isso não é privilégio de jornais. Existe em toda a grande imprensa. Há, entretanto, bons jornalistas e imprensa, claro. Infelizmente não são a maioria.



Figura 2-7: Você já se sentiu assim, lendo jornal?
Fonte: CD Expert Mania. Ano 01, nº 2.

Bin Laden, o saudita hoje inimigo público número 1 dos EUA, foi treinado por eles e tinha o seu suporte para combater a ex-União Soviética (não se esqueça que houve até apoio do cinema norte americano - pelo menos um dos Rambos de Stallone - sobre o tema), invasora do Afeganistão. E essa

informação foi dada, em entrevista ao jornalista Bob Fernandes, Fig. 2-8, da revista Carta Capital (FERNANDES, 2004), por ninguém menos que Carlos Alberto Costa, Fig. 2-9, português naturalizado norte-americano e ex-chefe do FBI no Brasil por quatro anos, de 1999 a 2003.



Figura 2-8: Jornalista Bob Fernandes.

Fonte:

<http://www.cromos.com.co/4459/images/articulos/actualidad2-1.jpg>



Figura 2-9: C. A. Costa, ex-chefe do FBI.

Fonte:

http://cartacapital.terra.com.br/site/index_frame.php

Trecho dessa entrevista a Bob Fernandes foi:

CC: Vocês treinaram e armaram Bin Laden quando ele ...

CAC: ... enquanto ele combatia os soviéticos no Afeganistão. Nós que demos suporte ao Saddam Hussein para ele conter os aiatolás do Irã, nós é que lhe demos armas químicas ...

CC: Quando e como vocês deram as armas químicas?

CAC: Fornecemos, por exemplo, o antraz, assim como outras armas químicas que agora nós, hipocritamente, anunciamos ir lá procurar.

CC: Foram mesmo vocês, diretamente, que deram maneiras para produzir o antraz?

CAC: Demos as técnicas e toda a assistência.

CC: Quem fez isso? Em que época?

CAC: Donald Rumsfeld, atual secretário de Defesa dos Estados Unidos, à época era um representante emissário especial do Presidente Ronald Reagan; início dos anos 80, guerra entre o Iraque e o Irã, com mais de 1 milhão de mortos em ambos os lados. Nós não tínhamos relações diplomáticas com o Iraque, considerado um país que dava suporte ao terrorismo internacional e que estava na lista de excluídos do Departamento de Estado. No entanto, em 1982, os EUA retiraram o Iraque dessa lista e, em 1983, o mesmo Rumsfeld de hoje encontrou-se com Saddam Hussein em Bagdá. Confraternizou-se com Saddam e deu a ele todo o suporte político e militar dos Estados Unidos ...

E, ainda segundo o ex-chefe do FBI no Brasil, não são apenas Afeganistão e Iraque os considerados **casa-da-mãe-joana** pelos EUA. A lista de países é grande, incluindo o Brasil. Vale a pena ler a entrevista.

b. Visualizar cenários: absolutamente necessário

Como é absolutamente relevante tentarmos visualizar cenários para elaborarmos projetos de nossas ações futuras, é extremamente importante conhecer esses fatos, ilustrativos da necessidade de se ter uma visão sistêmica, para que não se caia em situações de absoluta ingenuidade, resultando em retumbantes fracassos os cenários por nós arriscados, comprometendo os projetos, tanto pessoais quanto profissionais, que venhamos a elaborar.

Gostaria de citar um livro de Freeman Dyson, físico e matemático inglês, naturalizado norte-americano (FREEMAN, 2001, pág. 12-13), que pode ser útil para a visualização de cenários:

A tecnologia é apenas uma das muitas forças que impulsionam a história humana, e raramente é a mais importante. A política e a religião, a economia e a ideologia, as rivalidades militares e culturais são tão importantes quanto a tecnologia. A tecnologia só nos dá as ferramentas. Os desejos e instituições humanas decidem como as usamos (...). Quando tentam prever o futuro, os especialistas normalmente estão errados.

(...) Neste livro estou olhando para o século XXI do final do século XX. Antes de escrevê-lo examinei com alguns detalhes as tentativas de dois especialistas famosos que olharam para o século XX do final do século XIX, Júlio Verne e H. G. Wells. Nem Verne nem Wells viram o futuro com clareza. Não é justo culpá-los (...). Verne (...) prevê uma máquina de alimentar bebês

com a capacidade de 500 amas-secas. Wells (...) prevê que o hipnotismo substituirá os remédios, os anti-sépticos e os anestésicos (...).

As previsões mais bem-sucedidas de Verne foram o submarino (...) e a missão à Lua (...). Wells (...) descreveu uma televisão em cores exibindo instantaneamente eventos remotos, aviões voando de Londres à América em duas horas e uma máquina CAD-CAM (...).

Tanto erraram feio, Verne e Wells, em algumas previsões, quanto acertaram em cheio, em outras. Claro que, quanto mais remoto for o futuro para a visualização de cenários, mais chance de errar-se há. Não há como, no entanto, não tentar fazê-la, especialmente para quem tem como profissão o projeto e o desenvolvimento de sistemas. Quaisquer que sejam eles. Mas Dyson também critica um fato: **para quem a tecnologia é desenvolvida** (DYSON, 2001, pág. 63-78):

(...) O século XXI passou do futuro distante para o futuro próximo. Minhas previsões estão menos preocupadas com o longo prazo e mais preocupadas com o curto prazo. No curto prazo, as viagens espaciais são uma piada. Observamos desorientados cosmonautas lutando para sobreviver na estação espacial Mir. Obviamente, eles não estão indo para lugar nenhum, exceto, se tiverem sorte, para baixo. A inteligência artificial também vai mal. Os robôs não são sensivelmente mais inteligentes hoje do que eram há catorze anos. Quando me

sentei para revisar minhas previsões para este livro, tirei da lista as viagens espaciais e a inteligência artificial. O único item que permaneceu da lista antiga foi a engenharia genética, que está avançando rapidamente, com velocidade ainda maior do que eu esperava. Todos ouviram falar de Dolly, a ovelha clonada (...).

Tecnologias mais recentes, que contribuíram de modo prático para a justiça social, foram tecnologias de saúde pública, de abastecimento de água limpa, de tratamento de esgotos, de vacinação e de antibióticos (...).

(...) Hoje, uma parte exagerada da tecnologia se dedica a fazer brinquedos para os ricos. A ética pode empurrar a tecnologia em uma nova direção, afastando-a dos brinquedos dos ricos e fazendo com que se volte para as necessidades dos mais pobres. O momento é propício para que isso ocorra. O sol, o genoma e a internet são três forças revolucionárias que chegam com o novo século. São forças suficientemente poderosas para reverter alguns dos piores males de nosso tempo. Um dos maiores é a pobreza rural.



Figura 2-10: Freeman Dyson.

Fonte:

<http://plus.maths.org/issue26/features/dyson/dyson.jpg>

A afirmação de Dyson, Fig. 2-10, de que a Inteligência Artificial ia mal, e que os robôs não são sensivelmente mais inteligentes do que eram há anos), além de sua constatação de que uma parte exagerada da tecnologia se dedica a fazer brinquedos para os ricos, Fig. 2-11, para mim, acertou na mosca.

Os robôs de segunda geração (robô **play-back**) exercem (e continuarão a fazê-lo por muito tempo) função importante na indústria. Quando conclui meu livro sobre Controle de Robô (ALVES, 1988), que aborda o robô até a sua segunda geração, já estava estudando os robôs de terceira geração (robô inteligente). Aí, como é costume dizer-se no Brasil, **o buraco era mais embaixo**. A área tecnológica, em geral, e as engenharias em particular, que foram capazes de desenvolver os robôs de primeira e de segunda gerações, sozinhas não dariam conta da terceira geração de robôs. Essa era uma previsão minha e de outros pesquisadores da área que acabou por ser confirmada. A constatação de Dyson sobre a Inteligência Artificial (*A inteligência artificial também vai*

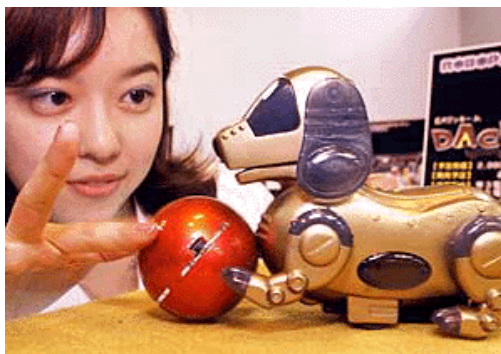


Figura 2-11: Brinquedo para criança rica.

Fonte:

<http://www.tribuneindia.com/2000/20000808/07afp1.gif>

mal), feita em 1999, tem, pelo menos em meu entendimento, uma explicação, mas não a única.

Não precisava ser nenhum Verne ou Wells, para acertar nessa previsão. A começar pelas discussões infrutíferas sobre a própria palavra inteligência. De um lado, pesquisadores sectários da área tecnológica, que acusam os de outras áreas, próprias a discussões desse tipo, de estarem interessados em discutir **sexo de anjo**. Por outro lado, os pesquisadores sectários das áreas não tecnológicas, que acusam os desta de serem **objetivos demais, reducionistas**, e quejandos. É importante ressaltar que ambos os sectários são conservadores, por vezes chegando às raias do **reacionarismo**, para citar novamente o meu amigo Maia.

Além disso, e como havia, e há, uma forte tendência em buscar-se inspiração biológica para as soluções a serem implementadas nos robôs de terceira geração, ficava claro que o robô de terceira geração só poderia ser desenvolvido por grupos transdisciplinares de pesquisa (psicólogos, neurologistas, neurocientistas, epistemólogos genéticos, engenheiros, cientistas da computação, etólogos, biólogos evolucionistas, etc.). E formar uma equipe transdisciplinar foge à dimensão do ego dos sectários. Então, a previsão estava na cara. **Elementar, meu caro Watson**.

Antonio Damasio, Fig. 2-12, um dos mais importantes pesquisadores da relação **cérebro × mente consciente**, é autor de 3 livros já clássicos sobre o tema.

No primeiro (DAMASIO, 1996), descreve a importância da emoção na tomada de qualquer decisão que seja favorável para o futuro de quem as toma, revertendo a máxima de Descartes, **penso, logo existo**. No segundo (DAMASIO, 2000), descreve um modelo de consciência que, a meu ver, pode representar um avanço para o desenvolvimento de robôs de terceira geração.



Figura 2-12: Antonio Damásio

Fonte: <http://www.sijmen.nl/filo/philoomages/damasio.jpg>, 23 mar 2004.

E, finalmente, no terceiro (DAMASIO, 2003), Damásio descreve o fortalecimento de suas convicções a respeito de suas pesquisas. Além disso, em um artigo na revista *Scientific American* (DAMASIO, 2004), ele discorre sobre aves de agouro:

Outra objeção à compreensão da mente é que o conflito entre o observador e o observado torna o intelecto humano incapaz de estudar a si mesmo. Entretanto, é importante observar que cérebro e mente não são um monólito: possuem múltiplos níveis estruturais, e o mais alto deles cria instrumentos que permitem a observação dos outros. Por exemplo, a linguagem dotou a mente do poder de categorizar e manipular o conhecimento de acordo com princípios lógicos, e isso nos auxilia a classificar observações como verdadeiras ou falsas. Devemos ser modestos quanto à possibilidade de algum dia observar

nossa natureza por completo, mas não podemos anunciar a derrota antes de tentar.

Como dá para notar, a área tecnológica não dá conta de desenvolver, sozinha, a terceira geração de robôs. Nem as outras sem sua ajuda. Mas, mesmo quem está mais perto de construir meios para fazê-lo, é obrigado a incentivar os **de-pouca-fé. Que dureza, não?**

Sempre há um conjunto de evidências capaz de nos fornecer indícios para uma visualização de cenários, e é interessante fazê-lo. Até Damásio arriscou (DAMASIO, 2004): *Seria tolo de minha parte fazer previsões sobre o momento ou o que pode ou não ser descoberto. Mesmo assim, é provavelmente seguro afirmar que, por volta de 2050, o conhecimento sobre fenômenos biológicos terá eliminado as separações tradicionais entre corpo/cérebro, corpo/mente e cérebro/mente.*

As pesquisas sobre temas complexos como modelos de mente consciente não podem ser feitas sem ter-se uma visão sistêmica do problema. E, toda pesquisa exige, sem dúvida, capacidade de visualização de cenários, como visto. Daí sua importância vital.

c. O que é sistema neste texto

Todo empreendedorismo exige uma visualização de cenários. A inovação, seja ela tecnológica ou não, disso depende. Não há dúvidas de sua necessidade. A pergunta que a acompanha é: como fazê-la com alguma chance de sucesso? Seja qual for a resposta a essa questão, ela envolve conhecimento da história, dos paradigmas contemporâneos e de suas prováveis mudanças além, claro de uma boa dose de sorte. E contar apenas com a sorte é temerário, quando não desastroso. Especialmente quando você investe recursos nessa previsão.

A Teoria Geral de Sistemas pode prover um conjunto de ferramentas com esse fim. Vamos, então, a questões que dizem respeito a sistemas, de modo geral.

Como visto no capítulo introdutório, **um sistema é composto por componentes interrelacionados levando a um todo com algum tipo de funcionalidade.** Essa forma entendimento a respeito de sistemas é conveniente neste texto pelas seguintes razões:

1. Pretende ser um texto introdutório sobre a Teoria Geral de Sistemas, o que não pode exigir, por parte do leitor, pré-requisitos além daqueles referentes a quem acabou de ingressar na universidade; ou seja, apenas exigindo o segundo grau completo.
2. Pretende, também, ser um convite ao leitor para que amplie sua visão de mundo, de forma a incluir preocupações que, certamente, já o devem ter incomodado antes, como por exemplo, ética, ambiente, saúde pública, exército de reserva (parcela de desempregados da população economicamente ativa), gestão empresarial, etc. E, para aumentar o número de convidados, essa forma inicial de entendimento de sistemas não é desestimuladora.
3. Finalmente, parafraseando Descartes, em seu livro Discurso do Método (DESCARTES, 1989), é bom iniciar com algo que a maioria compreende perfeitamente. E, partindo dessa compreensão, é possível ir-se construindo o que se pretende, que é a própria Teoria Geral de Sistemas.

Dito isso, podemos reafirmar a **compreensão sobre sistemas**, alto e bom som:

Um sistema é uma coleção de objetos de alguma forma interligados ou

interdependentes que leva a um todo com alguma funcionalidade.

Também, no capítulo 1, foi ilustrado um diagrama sobre **sistemas em níveis hierárquicos** na Fig. 1-15. O fato de terem sido representados apenas 3 níveis hierárquicos foi proposital já que, quando se estuda sistemas, esse é um número de níveis com os quais a mente humana consegue, em média, trabalhar confortavelmente. Outra razão é que pode não se dar conta desse estudo caso sejam considerados mais que 3 níveis hierárquicos.

Foi visto, também, que há duas maneiras básicas de um sistema ser concebido:

1. De forma **bottom-up** (os chamados **sistemas emergentes**).
2. De forma **top-down** (os **sistemas teleológicos**).

Neste capítulo serão clareados alguns aspectos sobre a concepção de sistemas. Na medida do possível, e sem perder de vista o objetivo maior que é um texto introdutório e didático, alguma profundidade será incluída.

Em primeiro lugar, é preciso não esqueçamos que o **conceito sistema**, como qualquer outro conceito, é **uma criação da mente humana**, que sofreu um processo de evolução ao longo da história da espécie. Por essa razão uma datação dessa (e de outras criações mentais) não podem ser determinadas completamente. Textos clássicos (BERTALANFFY, 1969) sobre Teoria Geral de Sistemas trazem contribuições significativas sobre o processo de evolução do conceito de sistemas. Bertalanffy, Fig 2-13, foi seu principal criador. Em um texto introdutório, como é o caso aqui, serão abordados aspectos mais recentes sobre o tema.



Figura 2-13: Ludwig von Bertalanffy (1901-1972).

Fonte: <http://www.infoamerica.org/teoria/bertalanffy1.htm>

Há duas maneiras de se considerar o conceito de sistemas:

1. **Enfoque cartesiano**
2. **Enfoque sistêmico**

O **enfoque cartesiano** utiliza uma **abordagem positivista** (CHAUÍ, 1997) da ciência clássica, enquanto o **enfoque sistêmico** considera a **totalidade**, uma visão holística.

d. Enfoque Cartesiano

A visão científica **otimista**, desenvolvida na França pelo filósofo **Augusto Comte**, atribuía o progresso ao desenvolvimento das ciências positivas. Essas ciências (positivas) permitiriam ao ser humano **saber para prever** e **prever para prover**, contribuindo para o desenvolvimento social. Visão ingênua? Não acredito em papai noel. Como se a história fosse contínua e progressiva. Pelo contrário, é descontínua e não progressiva.

E é de Comte a idéia de **Ordem e Progresso** (CHAUÍ, 1997), que viria a fazer parte da bandeira brasileira do Brasil Republicano, nos ensina Marilena Chauí, Fig 2-14.



Figura 2-14: Marilena Chauí.

Fonte: <http://livrovermelho.blog.ig.com.br/imagens/cad20.gif>

Dá pra notar que tais idéias prosperaram, de lá para cá, infelizmente. E, como cada sociedade tem sua própria história, a do Brasil contém, além de tantas coisas boas, essa pérola. Além disso, o assim chamado progresso científico-tecnológico nem sempre gera uma diminuição das desigualdades sociais. Pelo contrário, pode até agravá-las, como se sabe. Isso precisa ficar claro para qualquer brasileiro; em especial, para qualquer profissional de Sistemas de Informação e outros profissionais que lidam com informação.

É bom lembrar, também, que quem detém segredo tecnológico não o repassa, sob pena de **entregar o ouro**. Não é a toa que se tem denúncia de pessoas que procuram soluções empíricas de nações indígenas brasileiras, retornam aos seus países, estudam-nas e as patenteiam, sem nada de repasse para os descobridores de tais soluções. A isso, denomina-se **pirataria**. Mas essa pirataria não é abominada (por vezes, é até estimulada) pelos países de origem dos **piratas**, ao contrário de processos de grandes empresas contra cópias piratas de software e quejandos. Um exemplo disso é o grupo japonês que patenteou expressões brasileiras como **cupuaçú** e **açaí** (WWI-UMA, 2004). Bobinhos, não?

A abordagem positivista da ciência clássica tem se mostrado inadequada para o gerenciamento do impacto dos produtos da tecnologia, justamente por não dar conta do todo. Tanto para

sistemas organizacionais (empresas) quanto para sistemas sociais (sociedades). Impõe-se, portanto, uma alternativa: **abordagem sistêmica.**

e. Enfoque Sistêmico

A abordagem sistêmica, através da Teoria Geral de Sistemas, oferece essa alternativa, descobrindo princípios comuns a todo tipo de sistema, o que facilita estudos de cada um deles. Possuindo caráter interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar, a Teoria Geral de Sistemas **pretende superar a fragmentação do conhecimento, o isolacionismo implícito nos especialismos científicos e, por fim, tentar atender um mundo crescentemente complexo.**

E como se alcançou essa visão sistêmica?. Na sequência esboçada por Skyttner, em seu livro General System Theory (SKYTTNER, 1996), é possível acompanhar-se resumidamente um pouco dessa história. A sequência de Skyttner é:

1. **O paradigma Escolástico**
2. **O paradigma do Renascimento**
3. **O Mecanicismo e o Determinismo**
4. **A hegemonia do Determinismo**
5. **A Era da Relatividade e Mecânica Quântica**
6. **A Era de Sistemas**

Um pequeno resumo de cada um desses paradigmas ajuda a entender o desenvolvimento da visão sistêmica requerida. A propósito, a expressão paradigma significa (HOUAISS, 2001) **um exemplo que serve como modelo, padrão.** Mas há interpretações mais objetivas sobre o tema (CORBETT, 2004). Algumas são:

**Para Adam Smith, um paradigma é:
"Suposições compartilhadas. O**

paradigma é a forma como nós percebemos o mundo; água para os peixes. O paradigma explica o mundo para nós e nos ajuda a prever o seu comportamento."

Para Backer, paradigma é: "um conjunto de regras e regulamentos (escritas ou não) que faz duas coisas: (1) estabelece ou define limites; (2) diz como devemos nos comportar dentro desses limites para sermos bem sucedidos."

A interpretação de Backer é bem adequada aos propósitos desse texto e, por isso, será aqui adotada. E um conjunto de valores, o conhecimento e as opiniões, claro, são fortemente influenciados pelos paradigmas vigentes. Vamos a eles, então. Isso é válido para qualquer sociedade, e em qualquer época da existência da espécie humana.

f. Paradigma Escolástico

Ninguém, nesse começo de século XXI, tem a coragem de afirmar que a Terra é o centro do universo. Mas já houve época em que isso era defendido a ferro e fogo. Um conjunto de fatores levavam a essa visão de mundo. E a visão de mundo evolui, é dinâmica, depende de aspectos como conhecimento científico, de crenças, etc.

Na idade média, por exemplo, a visão de mundo era plenamente satisfeita pelo chamado **Paradigma Escolástico.** Mesmo sendo considerado um paradigma pré-científico, era uma filosofia completa criando uma entidade, a qual baseava-se nas seguintes proposições (SKYTTNER, 1996):

- **A natureza era viva e, então, mortal, finita e vulnerável**
- **Universo e natureza eram passíveis de serem compreendidos**
- **Salvação da alma era o desafio mais importante**

Além disso, as ciências naturais eram subordinadas à Teologia, para a qual o objetivo da ciência era mostrar a correlação entre a verdade do mundo físico e a verdade espiritual e o conhecimento era de natureza enciclopédica, classificada e catalogada. A estrutura da sociedade era influenciada pelos céus e refletia uma ordem divina e o desenvolvimento científico só era reconhecido quando suportava religião. Os métodos explicando a complexidade dos fenômenos eram revelações e, portanto, divinas. Curiosidades científicas eram vistas como pecados; e, por isso, punidas (**conheço pelo menos um avaliador da CAPES que adota o Paradigma Escolástico**).

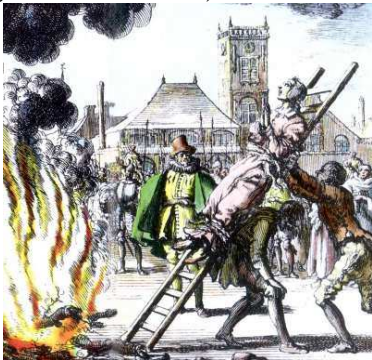


Figura 2-15: Inquisição, que de santa nada tem.

Fonte: <http://members.tripod.com/~mystweaver/inquisition.jpg>, 25 mar 2004.

Por vezes, a punição era com a fogueira da chamada **Santa Inquisição** (hoje conhecida como **Congregação para a Doutrina da Fé**), Fig 2-15. Era a religião impondo suas crenças e dogmas goela abaixo da sociedade. Hoje, felizmente, estamos (quase: o, hoje, ex-Frei Leonardo Boff foi

condenado pela inquisição moderna a um **silêncio obsequioso**, pois não mais existe a fogueira) livres disso mas, **muita calma nessa hora**, não estamos das **pequenas igrejas, grandes negócios**, ou, o que dá no mesmo, **templo é dinheiro**. Há uma belíssima palestra de Leonardo Boff, Fig 2-16, sobre Ecologia, patrocinada pela Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina e gravada em vídeo (BOFF, 2001).

Pelo Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa (HOUAISS, 2001), a palavra escolástica possui os seguintes significados: (1) Pensamento cristão da Idade Média, baseado na tentativa de conciliação entre um ideal de racionalidade, corporificado especialmente na tradição grega do platonismo e aristotelismo, e a experiência de contato direto com a verdade revelada, tal como a concebe a fé cristã; escolasticismo; e (2) Qualquer filosofia elaborada em função de uma doutrina religiosa (ex.: judaica, muçulmana). Parece que ainda vivemos no Paradigma Escolástico, não?



Figura 2-16: Leonardo Boff.

Fonte: <http://www.iepe.org/econoticias/062003/leonardoboff.jpg>, 25 mar 2004.

Ainda no período escolástico, observações, experimentos e conclusões não eram encorajadas, e os fenômenos naturais não compreendidos eram tidos como sobrenaturais. A Alquimia e a Química eram confundidas, assim como a Astrologia e a Astronomia.

Em Física, as 5 (6) substâncias básicas eram a **Terra**, o **Fogo**, a **Água**, o **Ar**, a **Quintessência** (incluindo o éter) e, depois, **Magnetismo**. Evidentemente que, para nosso mundo de hoje, pode parecer estranho viver-se sob o paradigma escolástico. No entanto (SKYTTNER, 1996), e a despeito do misticismo arraigado, pode ser um erro considerar a Idade Média como

primitiva. A aparente existência austera era compensada por uma abundante vida mental e imaginação espiritual.

Ponha-se no lugar de Nicolau Copérnico, Fig. 2-17, e de Galileu Galilei, Fig. 2-18, e suponha que estivesse trabalhando em pesquisas sobre o caráter heliocêntrico (e não geocêntrico) de nosso sistema solar.



Figura 2-17: Nicolau Copérnico ().

Fonte: <http://www.labdid.if.usp.br/~laboratorio/labdid/pictures/cientistas/COPERNIC.JPG>, 25 mar 2004.



Figura 2-18: Galileu Galei ().

Fonte: <http://www.sinodal.com.br/areas/ciencias/olimar/Image8.gif>, 25 mar 2004.

Você teria que fazer das tripas (ou dos neurônios), coração, para publicar suas pesquisas, sem que isso afetasse as **verdades intocáveis estabelecidas pela Igreja Católica** e policiadas pela **Santa Inquisição**. Você teria que, literalmente, colocar os *neurônios para trabalhar e fazer hora extra*. Em resumo, a teleologia, que já sabemos ser um sistema dirigido por objetivos (no caso, divinos), imperava.

g. Paradigma do Renascimento

O paradigma escolástico, ocorrido na idade média, ficou conhecido como o estágio pré-científico, o qual foi substituído, na mudança de paradigma, por outro estágio que reconhecia a ciência como capaz de descrever fenômenos e levar ao conhecimento: o **Paradigma do Renascimento**.

A própria ciência vem a ser uma fonte para o desenvolvimento de novas tecnologias. Neste ponto, emerge um respeito pelos fatos testados em experimentos válidos, bem como comunicação e opiniões sobre o conhecimento. A teleologia é gradualmente abandonada entrando, em seu lugar, as chamadas **Leis da Natureza**, com base na **Mecânica** (SKYTTNER, 1996).

Avanços na **Astronomia**, que deixava de ser confundida com a **Astrologia**, fez com que o **Sistema Geocêntrico** (de Ptolomeu, século II, AC) fosse, gradualmente, sendo substituído pelo **Sistema Heliocêntrico** (de Copérnico 1473-1543), mesmo que ainda considerasse o movimento dos corpos celeste perfeitamente circular. Mas, convenha-se, já era um avanço significativo.

No entanto, ainda havia problemas, como por exemplo, os pensamentos sobre o Universo infinito de Giordano Bruno (1548-1600), Fig. 2-19, são tidos como provocação, a ponto de condená-lo à morte na fogueira, pela Inquisição (SKYTTNER, 1996).



Figura 2-19: Giordano Bruno.

Fonte: <http://www.cronologia.it/storia/biografie/bruno.jpg>, 25 mar 2004.

Sobre o processo de **Galileu Galilei**, há um livro de **Pietro Redondi**, cujo título é **Galileu Herético** (REDONDI, 1991), onde o autor, ao aproveitar uma abertura dos arquivos do Vaticano logo no início do pontificado do Papa João Paulo II,

teve acesso aos documentos e concluiu,secamente, duas coisas que retifica a idéia explicitada por Skyttner:

1. Giordano Bruno, quando foi queimado na fogueira, já estava morto. Ainda assim, teve seu cadáver queimado, a título de exemplo para os chamados hereges.
2. Uma segunda conclusão de Redondi é que o real motivo do processo contra Galileu, não foi a questão do heliocentrismo, coisa que os Jesuitas, apesar de arraigados às decisões do Concílio de Trento, ocorrido no século anterior, já o sabiam, claro. O motivo real se referia a declarações de Galileu sobre o chamado mistério da Transsubstanciação (estabelecida no mesmo Concílio de Trento), que diz que, durante a Eucaristia, a Óstia se transforma no corpo de Jesus Cristo e o vinho em seu sangue. Como Galileu já estava estudando o atomismo grego, concluiu que não poderia haver essa transformação, uma vez que nada mudava nessas duas substâncias: nem cor, nem textura, nem sabor, etc. Ora, a questão do heliocentrismo era, digamos, um pecado venial, mas questionar a Transsubstanciação era um pecado mortal e, isso sim, dava fogueira na certa. Como o Papa Urbano VIII era seu amigo, cuidou para nomear uma comissão favorável a Galileu e mudou a denúncia para o heliocentrismo que, não necessariamente daria fogueira. O que resultou em prisão perpétua domiciliar.

Uma sequência de fatos importantes aconteceram nessa época: Tycho Brahe (1546-1601) desenvolveu nova técnica para observação planetária; Kepler usou-a para provar a natureza elíptica das órbitas dos planetas (as famosas Três Leis de Kepler); e com a invenção do telescópio, que foi aperfeiçoado por Galileu Galilei (1564 - 1642), foi possível esclarecer-se, de uma vez por todas, que a Terra era apenas um dentre vários planetas em órbita do sol, o chamado sistema heliocêntrico.

A descoberta de um imenso número de estrelas prova que o Universo é bem maior e bem mais diferente do que supunham a Igreja e os teólogos; a explanação teológica, de tudo convergir para a Terra (centro) é descartada e, em seu lugar, ficou a existência de forças agindo sobre os corpos celestes.

Com Galileu surge a **visão mecanicista** e a **separação entre ciência e religião**: o mundo da natureza é o campo da ciência e as questões espirituais ficam com a religião. Galileu é considerado o primeiro cientista moderno por sua abordagem matemática e experimental que, como tal, diferenciava as propriedades qualitativas e quantitativas.

René Descartes (1596-1650), Fig. 2-20, estende a separação entre ciência e religião para a separação entre corpo e mente, que é conhecido na Filosofia como **dualismo** (Chauí, 1997): **corpo** pertence à realidade do mundo físico objetivo e a **mente** ao mundo subjetivo da mente com seus pensamentos e sentimentos. Daí por diante, começava a implacável retirada da tradição religiosa ocidental.



Figura 2-20: René Descartes.

Fonte: <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/enseignement/tp/hist/descartes.jpg>, 25 mar 2004.

Mas, como a maioria dos fenômenos naturais continuavam sem explicação, isto é, sem causa aparente, eram tidos como de natureza puramente supersticiosa. A consciência humana deixava de espelhar uma origem divina: apenas a si própria; os cientistas do Renascimento viam seu mundo como uma

relativamente pequena ilha de certeza e um grande mar de mistério aceito.

Logo, o nascimento da ciência moderna deve ser visto em relação ao poder da Igreja; a Teocracia papal influenciou o curso do desenvolvimento científico, pois era muito pequena a diferença entre o sacerdote e o cientista.

As tentativas de Giordano Bruno e Galileu Galilei mostraram que a ciência estava em perigo caso enfrentasse o domínio e a autoridade do Papa. É por essa razão que a ciência precisava declarar-se **neutra** e **independente**. E conceitos como objetivo e imparcial vem a se tornar sua **marca registrada**. No final do século XX, entretanto, essa mentalidade científica perdeu seu significado. Mesmo assim, a **objetividade ainda é relevante**, desde que se conheçam suas **limitações**.

h. Mecanicismo e Determinismo

Neste paradigma, a visão de mundo traz a concepção de que a realidade é exata, determinada, formulada, explícita e que é possível controlar os fenômenos da natureza, tendo-se a imagem de mundo como se fosse uma máquina. Isso levava à uma ambição na ciência: a de dominar e conquistar a natureza. Sobre a ideia de dominar a natureza, é interessante assistir o vídeo da palestra do catarinense Leonardo Boff, sobre ecologia (BOFF, 2001).

A ordem física e espiritual, sintetizadas na Lei da Natureza (agora vista como uma entidade físico-matemática) ainda influenciava o universo todo. Todos os mistérios da natureza ou ela própria podem, agora, ser explicados em termos mecanicistas, pois o mundo físico forma uma máquina dentro da qual cada subfunção pode ser calculada e cada evento, em uma parte do universo, tem consequências em outras partes. A essa visão de mundo dá-se o nome de **determinismo clássico**, onde

- **Para cada efeito, há uma causa**
- **Para cada ação, há uma reação**

Causa e efeito iniciam uma cadeia de eventos interrelacionados; e, nesse contínuo eterno, a aniquilação da matéria/energia é impossível. A Astronomia vem a ser a área simbólica para a filosofia de mundo materialista, em que um universo mecanicista, de corpos mortos, obedece passivamente a ordem de forças cegas, e até a visão sobre o ser humano muda: agora sendo mecanicista, que vem a ser a lógica oposta à superstição.

Animais (incluindo os ditos racionais) são, agora, nada mais que seres mecânicos muito bem elaborados; o coração humano passa a ser uma bomba que obedece princípios termodinâmicos em um sistema hidráulico/mecânico. Essa **Era Mecanicista** é também chamada de **Era da Máquina**.

O termo **Era da Máquina**, também, foi influenciado pela importância das máquinas na Revolução Industrial. Nessa era, o nome mais nobre na Física/Matemática é **Isaac Newton** (1643-1727), Fig. 2-21, em cujo livro **Princípios** (NEWTON, 1990) apresenta um **universo mecanicista, independente da ordem espiritual**. Na **mecânica newtoniana**, o termo condição inicial denota o **status** material do mundo no começo dos tempos.



Figura 2-21: Isaac Newton.

Fonte: <http://www.wonderquest.com/images/2003-07-mystery-isaac-newton.jpg>, 25 mar 2004.

Possíveis mudanças de **status** são especificadas por leis físicas, causais e rigorosas. A posição e velocidade de um planeta em nosso sistema solar, por exemplo, conhecidas em um momento específico, são suficientes para determinar sua posição e velocidade em qualquer tempo. É por isso que se consegue enviar uma nave com robózinhas ao planeta Marte, Fig. 2-22, como os que estão nesse começo de 2004. As Leis de Newton tem o determinismo embutido. Pierre Simon de Laplace (1749-1827), seguidor de Newton, usou-as para calcular posição e velocidade de partículas e para calcular o futuro do Universo.



Figura 2-22: Robot Spirit (Marte).

Fonte: [http://tintuc.vdcmedia.com/photos/spirit\(1\).jpg](http://tintuc.vdcmedia.com/photos/spirit(1).jpg), 25 mar 2004.

i. Hegemonia do Determinismo

Estava estabelecida a idéia de **universo como mecanismo de um relógio**, Fig. 2-23. Uma visão uniforme de mundo emerge, em termos determinísticos. E o universo, como um mecanismo, é obra do Criador, cuja criação trabalha de acordo com sua estrutura interna e as leis (newtonianas) causais da natureza. Proposição, significado e existência são deixados de fora do próprio universo.



Figura 2-23: Universo como um relógio.

Fonte: <http://www.maverickcreations.com/pix/stars4.jpg>, 25 mar 2004.

O **ponto** de interpretar-se o universo como um mecanismo de relógio é que o **seu significado é externo à máquina**, existindo apenas na mente de seu criador. Em outras palavras, Deus está para a natureza assim como o relojoeiro-fabricante está para a sua criação: o relógio.

O mecanismo de relógio é visto, também, como a característica central do **Princípio da Causalidade: todo efeito é precedido (e não seguido) por uma causa**. E, ainda: uma causa mensurável sempre produz um efeito mensurável em qualquer sistema racional; também, causas idênticas, impostas sobre sistemas racionais idênticos, produzem efeitos

idênticos. Então, relação causa-efeito explica toda a existência, onde a primeira causa foi Deus. Logo, a livre vontade é tida como ilusão. **Intenção e liberdade de escolha** perdem propósito em um universo determinista, pois não mais são necessários para explicar os fenômenos naturais e o comportamento humano, ou seja, **causa explica os efeitos**, completamente. Com base nessa visão, o **reducionismo** vem a ser a doutrina predominante.

O reducionismo argumenta que, das teorias científicas que explicam fenômenos em um nível, explicações de nível mais alto podem ser deduzidas, e a realidade e a nossa experiência podem ser reduzidas a um certo número de elementos básicos indivisíveis:

- **Propriedades qualitativas podem ser reduzidas a propriedades quantitativas;**
- **Côr pode ser reduzida à questão de comprimento de onda;**
- **Ódio e amor à questão da composição da secreção interna, etc.;**

E o reducionismo é inerente a todas as principais áreas científicas:

- **Em Física**
 - Átomo com duas qualidades: massa e energia
- **Em Biologia**
 - Célula: tijolo de construção da vida
- **Em Linguística**
 - Fonemas: os elementos básicos da fala
- **E assim por diante.**

O **reducionismo** provê fundamento para o **método analítico** com seus **3 estágios**:

- 1. Dissecar fisicamente/conceitualmente**
- 2. Aprender propriedades/comportamento das partes em separado**
- 3. Das propriedades das partes, deduzir as propriedades e o comportamento do todo**

Perco a seqüência deste texto, mas não perco a oportunidade de **alfinetar** o reducionismo: **como esse reducionismo pode explicar a propriedade da água de apagar fogo, a partir da propriedade inflamável de seus componentes (hidrogênio e oxigênio)?**

Note que as **observações e experimentos são os fundamentos da metodologia analítica reducionista** (SKYTTNER, 1996); **outro pré-requisito** desse método é sua **independência do ambiente**, istoé, o ambiente é considerado irrelevante. Essa é a explicação do porquê que o **conceito de laboratório científico se padroniza, e exclui o ambiente.**

Na metodologia analítica reducionista os efeitos de diferentes variáveis podem ser estudados de maneira adequada, **sem a influência do ambiente**: é proposital. A meta da atividade científica exercitada: descrever, controlar, prever e explicar os vários fenômenos, sendo que o cientista, pressupõe-se, fica de fora do experimento. Pelo menos, idealmente, pois, para ele, vale:

- **Não intervenção;**
- **Neutralidade;**
- **Objetividade**

A pressuposição metafísica, sob o conceito de laboratório, é que a **natureza não é imprevisível, nem secreta, mas é computacionalmente reversível**; e mais: a **previsibilidade implica que as mesmas leis da natureza são válidas em**

todas as partes do universo. Por **não secreto**, entende-se que **todos os aspectos são passíveis de serem revelados**, mesmo que leve tempo. Além disso, a **reversibilidade computacional** implica em poder-se **calcular previamente o ocorrido** (SKYTTNER 1996).

O **Método Científico**, como também é conhecida a **Metodologia Analítica Reducionista**, tem sua própria abordagem, na seguinte ordem:

1. **Redução da complexidade através de análise;**
2. **Desenvolvimento de hipóteses;**
3. **Projeto e replicação de experimentos;**
4. **Dedução de resultados e rejeição de hipótese.**

Note que essa metodologia, mesmo com suposição metafísica, é o **point da ciência empírica**. **Um resultado científico, obtido com essa metodologia, só é reconhecido com sua divulgação oficial e irrestrita, através de revistas e congressos científicos.** E, para que uma pesquisa científica seja considerada válida, a descrição do experimento que gerou o resultado tem que ser precisa, para que ela possa ser repetida por outros com o intuito de confirmá-la ou refutá-la. Caso não possa ser repetida, desconfia-se de fraude; e isso não é muito raro.

Um resultado científico obtido pode dar margem a outros experimentos, que podem gerar outros, e assim por diante. É assim que se constroi o conhecimento científico. A ciência clássica empírica pode, também, revelar fenômenos ainda não descobertos. Quando Newton compilou a Teoria da Gravitação Universal (NEWTON, 1990), a idéia de que corpos celeste se atraíam já era conhecida. Sua formulação matemática, no entanto, veio com com o resultado de seu trabalho de pesquisa. Na outra ponta da linha, há **Maxwell**, Fig. 2-24, que, quando elaborou o conjunto de equações do eletromagnetismo, conhecidas como **Equações de Maxwell** (CHERMAN, 2004), que explicam fenômenos como a

levitação magnética usada em trens de alta velocidade e ilustrada na Fig. 2-25, afirmou existir uma energia que, literalmente, **ia para o espaço**. Exatos 20 anos depois, **Hertz**, Fig. 2-26 e 2-27, conseguiu mostrar a existência do que hoje é conhecido por **ondas de rádio**.

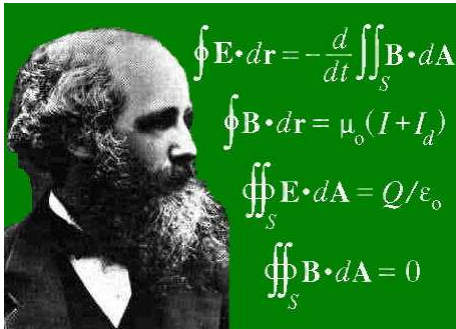


Figura 2-24: Equações de Maxwell.

Fonte:

<http://www.themechanicaluniverse.com/mu139.htm>

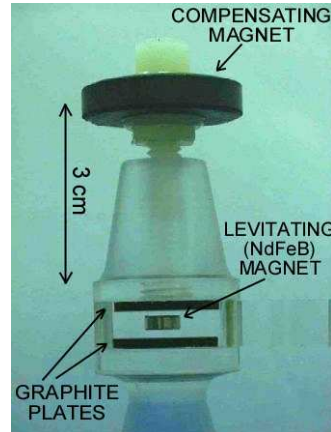


Figura 2-25: Levitação magnética.

Fonte: <http://www.hfml.kun.nl/fingertip.html>



Figura 2-26: Hertz em seu laboratório.

Fonte:

<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/hertz.htm>



Figura 2-27: Hertz aos 21 anos.

Fonte:

<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/hertz.htm>

O método científico é baseado nos conceitos de **empirismo**, **determinismo** e **monismo**. O **empirismo** é a doutrina que garante ser o **universo melhor compreendido quando se confrontam as evidências com os nossos sentidos**; o **determinismo** é o **fluxo causa-efeito**; o **monismo** implica a **inseparabilidade inerente entre corpo e mente**, base de

todo pensamento ocidental. Esses conceitos juntos são, às vezes, chamados de **Paradigma Científico**.

Nos estudos da **eletricidade**, **magnetismo**, **luz** e **calor**, o **Paradigma Científico** foi um **grande sucesso**. O otimismo humano, com isso, cresce: espera-se, então, que a ciência dê respostas a questões em todas as áreas. O terreno estava limpo para o avanço de novas idéias: o positivismo científico é trazido à tona por Auguste Comte (1798-1857), para o qual, conceitos como causa, significado e objetivo são descartados das ciências naturais. Isso significa que somente uma realidade, possível de ser observada pelos nossos sentidos e de ser tratada logicamente, pode ser aceita como base de um conhecimento confiável. A coleção de fatos absolutos e suas quantificações representam a principal preocupação dos cientistas (SKYTTNER, 1996).

A mentalidade positivista pode ser resumida da seguinte maneira (SKYTTNER):

Monismo filosófico

Corpo e mente são inseparáveis

Realidade objetiva

Realidade possível de experimentar-se com nossos sentidos

Nominalismo

Todo conhecimento é relacionado a objetos concretos; abstrações exigem existência real

Empirismo

Todo conhecimento é baseado na experiência

Anti-normativismo

Declarações normativas não tem base científica: não são falsas nem verdadeiras

Monismo metodológico

Existe apenas um método científico, que nos é dado pelo paradigma científico

Explicações causais

Irrelevância de objetivos, intenções e metas

No final dessa era do determinismo clássico, a interpretação mecanicista da termodinâmica traz nova luz com a introdução do conceito de **entropia**: uma quantidade matemática abstrata, cuja interpretação física ainda é mistério. Entram em cena as **Leis da termodinâmica**.

Primeira Lei da Termodinâmica

A energia total do universo é constante, não podendo ser perdida nem criada.

Segundo a primeira Lei da Termodinâmica, a energia pode apenas ser transformada, de uma forma em outra. Por exemplo, é possível transformar energia elétrica em calor (qualquer dona de casa utiliza esse princípio a cada vez que passa roupa usando um ferro de passar roupas elétrico). Este princípio é conhecido como **princípio da conservação da (quantidade) energia**, que já havia sido considerado (**tudo muda, nada se perde**, lembra?) há 500 anos a.C., por Pitágoras (SKYTTNER, 1996).

Segunda Lei da Termodinâmica

Toda a energia do universo se degrada irreversivelmente.

É importante ressaltar que a degradação da energia a que se refere a **Segunda Lei da Termodinâmica**, fala da **qualidade da energia e não de sua quantidade**, que é fixa, segundo a Primeira Lei. É aí que entra o **conceito de entropia**. Segundo o dicionário HOUAISS, **num sistema físico, a entropia é a medida da energia não disponível para a realização de trabalho (só para lembrar: você realiza trabalho quando empurra, por exemplo, uma mesa, deslocando-a; e não o realiza quando não consegue deslocar, apesar de ter gasto energia na tentativa frustrada)**.

Então, em sistema com a energia constante, uma parte dela está disponível para realizar trabalho e a outra parte não. Quanto mais aumenta a entropia, mais aumenta a quantidade de energia não disponível para a realização de trabalho. Este princípio é conhecido como o **Princípio da Degradação (qualitativa, lembre) da Energia** (SKYTTNER, 1996).

Para sistemas, em geral, a Segunda Lei da Termodinâmica nos diz que a **entropia de um sistema** isolado (ou seja, aquele que não está recebendo suprimento externo de energia) **sempre cresce**. Uma outra consequência é que quando dois sistemas se juntam, a entropia do todo é maior que a soma das entropias dos sistemas individuais (SKYTTNER, 1996).

Energia potencial (aquela que você fornece a uma bolinha, quando a solta para que a mesma caia no chão) é **energia organizada (de baixa entropia)**. Já o calor é **energia desorganizada (de alta entropia)**. Logo, a entropia resulta em desordem. É comum ouvir-se que entropia é a medida de desorganização de um sistema.

Como a energia desorganizada (derivada da segunda lei da termodinâmica) é mais provável que a organizada, isso tem um impacto para a nossa visão de universo. Uma consequência disso é **ver-se o mundo como caótico, não determinista**. Movimentos de átomos que criam vida e a evolução resultam de **mutação, ao acaso**. Outra consequência é que **o relógio de mundo newtoniano tem tendência persistente em parar**, pois a **tendência da entropia é crescer sempre**. Isso, convenhamos, não é fácil de ser encarado. O físico francês, Léon Brillouin (1889 - 1969) resumiu essa preocupação (SKYTTNER, 1996):

2.1 Como é possível entender-se a vida quando o mundo inteiro é organizado de acordo com a segunda lei da termodinâmica, que aponta para a sua aniquilação.

Léon Brillouin (1889 - 1969)

A **Era do Determinismo** coincide com a era das máquinas e do conservadorismo da **cultura Vitoriana**, via **Revolução Industrial**. Habilidades humanas são crescentemente tomadas por máquinas, pois as tarefas manuais são quebradas em partes simples e monótonas, além, claro, das máquinas possibilitarem produtividade significativamente maior. Essa desumanização do esforço produtivo e a subsequente alienação do trabalhador dá margem a teorias que mudariam a cara do planeta, como **Marxismo-Leninismo**, o que veio a ser a base para relações de trabalhos menos injustas. A **era do determinismo** também pode ser chamada de **era do cientificismo**: só era realidade aquilo que pudesse ser expresso na linguagem das ciências naturais exatas e provadas quantitativamente.

Interpretação determinística da segunda lei da termodinâmica fornece as raízes ao pessimismo do final do século XIX. O sol exaurindo seus recursos que dão margem à vida, faz a Terra se aproximar de uma era glacial, etc. Enquanto se assiste ao fim da era do determinismo, novas perspectivas e novos impulsos surgem: a **Era da Relatividade e da Mecânica Quântica**.

j. Era da Relatividade e Mecânica Quântica

O primeiro golpe no determinismo, com sua visão estática de universo veio com **Albert Einstein** (1879-1955), Fig. 2-28, e sua Teoria Especial da Relatividade, em 1905. Um evento é, agora, definido com quatro números (três para posição e um para o tempo), o chamado espaço-tempo, que não existem individualmente. Não é possível imaginar espaço sem o

tempo, ou vice-versa. Quando se observa uma estrela a cem anos-luz da Terra, não só a estrela não mais está lá como, também, o que se vê é a sua imagem há cem anos atrás. O espaço tetra-dimensional é introduzido com seu espaço-tempo contínuo.

Confrontada a teoria da relatividade de Einstein com a da gravitação de Newton, impõe-se um problema, que o próprio Einstein resolveu, em 1915, com a Teoria Geral da Relatividade. A gravitação é consequência da curvatura do espaço-tempo, causada pelo conteúdo de massa e energia. A massa do sol curva o espaço-tempo em uma órbita circular mesmo que seja uma reta no mundo tetra-dimensional (**difícil de engolir**, pois só conseguimos visualizar 3 dimensões). Essa síntese de Einstein das 4 quantidades fundamentais (**tempo, espaço, massa e energia**) é confirmada, pela primeira vez, em observações astronômicas nos anos 30. Para o público, em geral, era um mistério. Uma visão contemporânea pode ser sintetizada no poema (SKYTTNER, 1996), com tradução livre:

2.2 Havia uma moça chamada Bright,

2.3 Que viajava mais rápido que a luz,

2.4 Um dia ela viajou,

2.5 De uma forma relativa,

2.6 E chegou na noite anterior

(R. Buller)

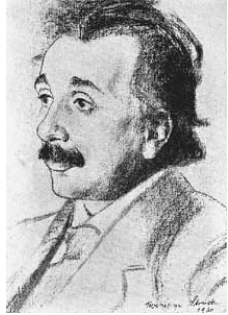


Figura 2-28: Albert Einstein: "Deus não joga dados".

Fonte:

http://www.physics.rutgers.edu/ugrad/313/this_course_is_called.htm, 27 mar 2004.



Figura 2-29: Niels Bohr: "Alguém que não se choque com a Teoria Quântica, não a entendeu".

Fonte:

http://www.physics.rutgers.edu/ugrad/313/this_course_is_called.htm, 27 mar 2004.

Outro golpe mortal no determinismo foi a Teoria Quântica, que havia sido enunciada pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), Fig. 2-30, em 1901. Com essa teoria, o conceito clássico da Mecânica começa a ser reformulado. Em 1927, Werner Heisenberg (1901-1976), Fig. 2-31, especificou o Princípio da Incerteza:

2.7 É fundamentalmente impossível definir posição e velocidade para uma partícula.



Figura 2-30: Max Planck.

Fonte:

<http://www.newgenevacenter.org/reference/20th-1st2.htm>, 27 mar 2004.



Figura 2-31: Werner Heisenberg.

Fonte:

<http://www.newgenevacenter.org/reference/20th-1st2.htm>, 27 mar 2004.

O princípio de Heisenberg deve ser considerado como um caso especial do **Princípio da Complementaridade**, que também foi articulado por Niels Bohr (1885-1962), Fig 2-29:

2.8 Um experimento sobre um aspecto de um sistema (de dimensões atômicas) destrói a possibilidade de aprendizagem sobre um aspecto complementar do mesmo sistema.

Esses princípios tem conseqüências que batem de frente na compreensão de entropia e determinismo. A nova mecânica, a Mecânica Quântica, incluía o não determinismo como um princípio fundamental, ao focalizar-se um átomo e suas partículas. Nessas micro-dimensões, as circunstâncias predominantes e especiais eram explicadas com a ajuda da teoria quântica, via probabilidade, ao invés de certezas.

A visão cosmológica predominante, que é conhecida como modelo padrão, afirma que o universo está em expansão, tendo como ponto de partida o **big bang**, Fig 2-32, que ocorreu há 15 bilhões de anos (**o maior efeito sem causa**). O universo desenvolveu-se de um sistema imensamente denso, uma **singularidade**. Em uma singularidade, as leis da natureza não existem, pelo menos como conhecidas hoje, e não pode ser descrita nem pela Teoria Geral da Relatividade nem pela Mecânica Quântica. A Relatividade e Mecânica Quântica devem ser componentes de uma teoria final ainda inexistente, que embla os sonhos de muitos pesquisadores.

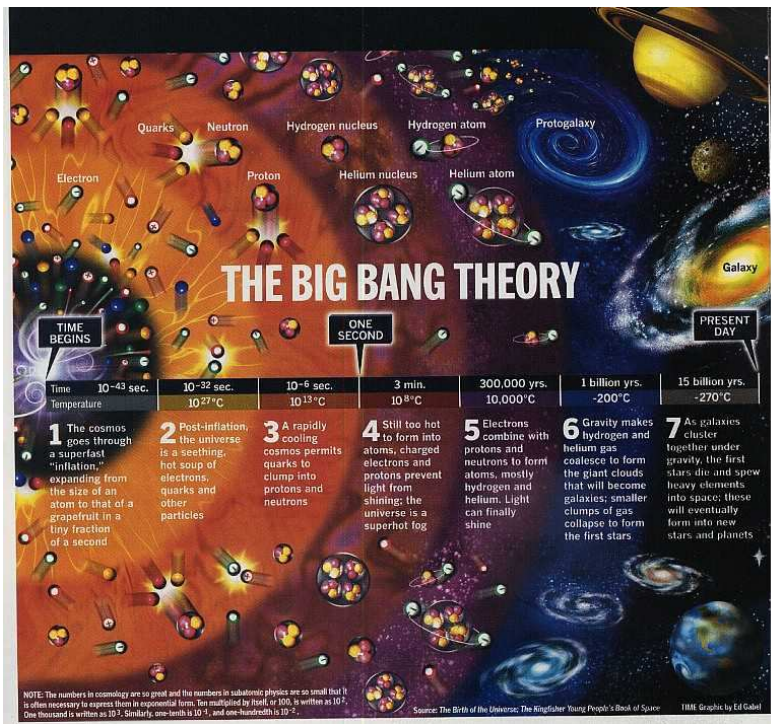


Figura 2-32: A Teoria do Big Bang.

Fonte: <http://www.phy.duke.edu/~myhan/100s3.bang.jpg>, 27 mar 2004.

As várias disciplinas científicas tem desenvolvimento similar; cada campo de conhecimento passa por estágios:

- Intuição**
- Descoberta de fatos**
- Análise**
- Síntese**

A síntese é um pré-requisito para o pensamento sistêmico de nosso tempo, justamente como era a análise para o mecanicismo. Um sistema, como representa um todo, perde suas propriedades sinérgicas se é decomposto (como exige a análise), e não pode ser entendido apenas por análise. Uma síntese parte do todo para as partes, fazendo o caminho inverso da análise:

Identifica o sistema cuja unidade é uma parte
Explica as propriedades ou comportamento do sistema
Finalmente, explica as propriedades ou comportamento da unidade como uma parte ou função do sistema

Síntese não cria conhecimento detalhado da estrutura do sistema. Cria conhecimento a partir de sua função (em contraste com a análise). Portanto, a síntese deve ser considerada como explanação, enquanto que o método científico deve ser considerado como uma descrição.

O **pensamento sistêmico** expande o foco do observador, enquanto que o pensamento analítico o reduz. Em outras palavras, a **análise olha o interior das coisas**; a **síntese, o exterior**. Essa atitude do pensamento sistêmico é, freqüentemente chamada **expansionismo**, em contraste com o **reducionismo clássico**. Enquanto o pensamento analítico se concentra nas propriedades estáticas e estruturais, o pensamento sistêmico se concentra no comportamento e na função do sistema todo. A análise dá descrição e conhecimento e a síntese, explanação e entendimento (SKYTTNER, 1996).

Com essa ênfase sobre variação e multiplicidade, ao invés de regularidades estatísticas, o pensamento sistêmico pertence à tradição holística das idéias. O pensamento sistêmico é uma resposta à falha do mecanicismo em tentar explicar fenômenos biológicos e sociais.

Como tentativa de resolver a crise da ciência clássica, formulou-se novas abordagens de investigação científica. Na década de 20, foram descobertas algumas propriedades nos organismos vivos, que foram reconhecidas pela comunidade científica. **Nascia o pensamento sistêmico** (SKYTTNER, 1996).

Nascido na biologia, é fácil descobrir o porque da adoção de terminologia ligada à essa área: **autonomia, sobrevivência**, etc. Nos diferentes estágios do pensamento humano, ferramentas específicas foram desenvolvidas. **Ferramentas para análise**, por excelência, foram o **microscópio** e o **telescópio**.



Figura 2-33: Terra vista da Lua.

Fonte: <http://www.paleofox.com/sfondi/sd/earth-from-moon-640.jpg>, 27 mar 2004.

Ferramentas da era sistêmica são projetadas para realçar a síntese: **computador** é um bom candidato. Pesquisas nas várias áreas, como energia nuclear, aerodinâmica, biologia, química, etc., simulam, ao invés de construir protótipos. O acelerador de partículas combina propriedades analíticas e sintéticas em um tipo de supermicroscópio capaz de ter resolução para objetos menores que o diâmetro do núcleo de um átomo. Satélites dão oportunidade excepcional de entender fenômenos globais e de ver a terra de fora, pela primeira vez na história, Fig. 2-33. Ferramentas como essas são chamadas, freqüentemente, de macroscópicas. Com essas considerações, você está no ponto para estudar a era em que vivemos, a era sistêmica, ou a **Era de Sistemas**.

k. A Era de Sistemas

Na segunda metade do século XX, com a introdução do computador, da bomba de hidrogênio e da exploração espacial, os **problemas de grande porte começam a emergir**. Tráfego caótico nos grandes aglomerados urbanos, Fig. 2-34, desastres ambientais e perigo nuclear entram para a

agenda ocidental. A sociedade encontra problemas em larga amplitude, que vai de problemas técnicos a organizacionais e de sociais a políticos. Dois séculos de sucesso de tecnologia e ciência clássicas criaram desenvolvimento com efeitos a longo prazo aparentemente **programados para serem devastadores para a humanidade**. O problema, segundo Gerald Weinberg (SKYTTNER, 1996), é que a **ciência e a engenharia foram incapazes de prever os efeitos colaterais de segunda ordem**, produzidos pelas suas vitórias de primeira ordem. Alguns exemplos podem esclarecer melhor esses efeitos de segunda ordem:

Destruição ambiental e mudança climática

Desmatamento e desertificação

Acúmulo de lixo (incluindo o nuclear)

Poluição (ar, água, etc.)

Diminuição da camada ozônio

Extinção de espécies

Explosão populacional e criminalidade

Urbanização, desemprego, miséria

Desperdício de energia limitada

Comércio e empobrecimento cultural

Poluição sonora, visual e de dados

Corrupção, drogas e AIDS

Feiúra ambiental (concreto e asfalto)

Outros

A ciência clássica, superespecializada e compartimentalizada, era incapaz de manusear problemas de complexidade crescente. A tentativa de reduzir a complexidade para estudar seus constituintes e, daí, compreender o todo pela compreensão de suas partes, não é mais válida. Lembre-se do exemplo da molécula de água.

Não compreendendo de que o todo é maior que a soma das partes, cientistas montaram conhecimento em ilhas, formando um grande arquipélago de dados desconectados. Hoje, a

biologia moderna mostrou que isso não funciona: física, química e biologia se uniram e criaram a biologia molecular. Foi, então, aceito que um sistema (isto é, o todo) não pode ser compreendido apenas através de análise, até porque algumas de suas propriedades derivam de relações entre seus constituintes.

Ficou claro que tudo no universo, incluindo ele, parecendo independente era, de fato, parte de um padrão orgânico, um todo, e nenhuma parte desse todo era realmente separada das outras. Foi possível vislumbrar universalidade de ordem e comportamento sistêmico, tanto em sistemas vivos quanto nos não vivos. Hoje, a função é o ponto mais importante, e não a anatomia.

A grande tarefa é resolver problemas na vida real. Antes, fazer coisas era mais importante do que pensar sobre elas. O automóvel resolve vários problemas, mas pode ser o responsável por um aquecimento global, de proporções catastróficas.



Figura 2-34: Certeza de aquecimento global.

Fonte: <http://www.newslettersink.com/greetingcards/postcards/traffic.gif>, 27 mar 2004.

Foi devido a essa compreensão que emergiu uma nova abordagem holística que é multidisciplinar, interdisciplinar e transdisciplinar: a **abordagem sistêmica**. **Holismo** significando juntar descobertas científicas fragmentadas de uma visão compreensiva do ser humano, da natureza e da

sociedade. Na prática, é uma busca de perspectiva para ver melhor, uma rede para poder-se entender melhor e uma plataforma para agir melhor (SKYTTNER).

James Schombert (2004), professor do Departamento de Física da Universidade do Oregon, em suas notas de aula da disciplina Galáxias e Universo em Expansão deixa isso muito claro (SCHOMBERT, 2004):

Esta é a natureza holística do mundo quântico, com o comportamento das partículas individuais sendo moldado em um padrão por algo que não pode ser explicado em termos do paradigma reducionista newtoniano. A Física newtoniana é reducionista, a Física quântica é holística.

O reducionismo entende que qualquer todo pode ser quebrado ou analisado em suas partes separadas e as relações entre elas, e o holismo que o todo é primário e freqüentemente maior que a soma das partes. Nada pode ser inteiramente reduzido a soma de suas partes, Fig. 2-35.

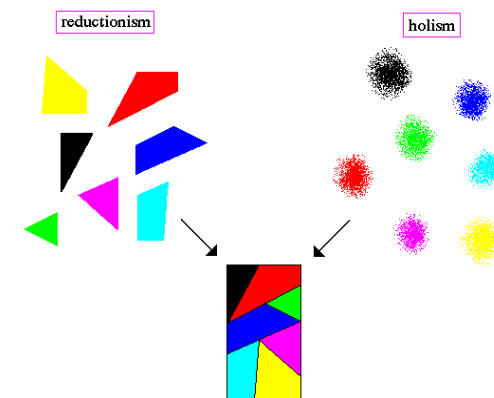


Figura 2-35: Holismo versus reduccionismo.

Fonte: <http://zebu.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec07.html>, 27 mar 2004.

As raízes da abordagem sistêmica foram formadas na segunda guerra e na mentalidade da Pesquisa Operacional. Essa disciplina emergente manuseou decisões estratégicas

militares, alocação de recursos, investimento, análise de riscos, etc., E de maneira pragmática, com o objetivo de ganhar a guerra. As principais linhas eram:

Não é necessário entender tudo, mas ter sob controle

Pergunte o que, ao invés de por que.

Não colete mais informação que o necessário para o trabalho

Concentre-se nas principais conseqüências da tarefa, abandone detalhes.

Resolva os problemas de hoje

Pré-requisitos e soluções logo ficam obsoletas.

A Pesquisa Operacional deu margem à primeira metodologia de sucesso para **sistemas complexos**. Problemas complexos não eram quebrados em partes disciplinares, mas tratados na globalidade por diferentes pesquisadores. Em 1954, a **Sociedade Internacional para a Teoria Geral de Sistemas (ISGST, que significa International Society for General System Theory)** foi fundada. Mais tarde chamada de **Sociedade Internacional para a Ciência de Sistemas (ISSS - International Society for System Science)**. Dois proeminentes fundadores foram **Ludwig von Bertalanffy** e **Kenneth Boulding** (SKYTTNER, 1996).

Ainda que Bertalanffy tenha esboçado suas idéias na década de 30, não foi reconhecido até um de seus artigos (agora clássico) ser publicado na revista **Science** em 1950. A idéia de um sistema ter característica diferente das áreas que o constituem é revolucionária e inovadora. Boulding publicou seu trabalho (também clássico) sobre hierarquia de sistemas em 1956. A equipe interdisciplinar de cientistas, que fundou a TGS, tinha interesse comum em ciência universal:

Juntar disciplinas para estabelecer leis que fossem aplicadas a todas elas

O alvo pode ser resumido como segue:

**Integrar similaridades e relações dentro da ciência
Promover comunicação entre fronteiras disciplinares**

Estabelecer uma base teórica para a educação científica geral

A integração deveria ser promovida pela descoberta de **analogias** e **isomorfismos** que permitisse à nova ciência, **Teoria Geral de Sistemas**, manusear sistemas complexos. As **analogias** são explanações relacionando algo desconhecido com alguma coisa que já seja conhecida. **Isomorfismo** existe quando estruturas, características, fórmulas e formas de organização são observadas em sistemas diferentes, isto é, quando leis formalmente idênticas governam o funcionamento de fenômenos materialmente diferentes. Quando essa identidade é parcial, em geral é chamado **homomorfismo**. O uso de isomorfismo permite a simulação e a utilização de métodos independentes de conteúdo dentro de diferentes áreas. Passo-a-passo, cria-se uma teoria, Teoria Geral de Sistemas - TGS.

Ciência básica, trabalha em nível abstrato com as propriedades gerais de sistemas, independente de forma e área aplicada. TGS supõe que todos os tipos de sistemas (concreto, conceitual, abstrato, natural ou feito pelo homem) tem características comuns, independente de sua estrutura interna. Esses sistemas serviriam para descrever a natureza e nossa existência. Os objetivos da TGS, em suma, são:

Formular teorias generalizadas, incluindo Teoria de Sistemas Dinâmicos, Comportamento Orientado por Objetivo (teleologia), Desenvolvimento Histórico, Estrutura Hierárquica, Controle de Processos.

Metodologia que descreva funcionamento e comportamento de sistemas. Criar modelos de sistemas generalizados. Como ciência aplicada, a TGS passa a ser a **Ciência de Sistemas**:

uma **metadisciplina com conteúdo capaz de ser transferido de disciplina para disciplina**. Seu equivalente no laboratório clássico vem a ser o **computador**. Ao invés de projetar-se experimentos com materiais reais, o próprio computador é substrato viável para a experimentação.

O uso do computador como instrumento de cálculo, de simulação e de criação de realidade não existente, traz um novo fenômeno que não é nem real nem imaginário: é **virtual**. Virtual é um modo de existência simulada, resultante do computador.

O objetivo da ciência de sistemas é, não substituir, mas complementar a ciência tradicional. A abordagem sistêmica adquire maior importância na medida em que cresce a complexidade, incluindo o ser humano. TGS traz à tona a figura do generalista qualificado para resolver problemas complexos melhor que os especialistas. Métodos específicos foram desenvolvidos tais como simulação, modelagem e jogos. A abordagem sistêmica é baseada no princípio fundamental de que todos os aspectos humanos devem ser tratados de forma integrada e de maneira racional.

Combinar teoria, empirismo e pragmática, e olhar o sistema de forma top down, em vez de bottom up. Outro método, a análise de sistema, que adota uma perspectiva estritamente sistêmica, entrou em cena para assegurar que nenhum fator importante na estrutura fosse excluído. A análise de sistemas pode, então, ser considerada um arcabouço interdisciplinar para ter-se visão comum de problemas.

Uma extensão disso, a **anasíntese**, criada com a suposição de que, quanto mais visões se tiver, melhor se pode entender um problema. Quando se usa esse método, modelagem, simulação, jogos, análise e síntese, são todos aplicados no desenvolvimento de sistemas. E é usado iterativamente, tanto no nível macro quanto no micro de sistemas de grande porte. Normalmente, o resultado é mais organizado, mais

estruturado e mais adequado a problemas reais do que outros métodos. Há, também, a **Engenharia de Sistemas**, um método que pode realizar a evolução ordenada de sistemas feitos pelo homem.

Um método muito discutido é conhecido por **Dinâmica de Sistemas**. Desenvolvido por Jay Forrester (1969), usa modelos dinâmicos por computador que mudam variáveis acopladas em uma rede. Foi aplicada para estudar aglomerados urbanos (dinâmica urbana), para o desenvolvimento industrial no ocidente (dinâmica industrial) e para o estudo dos recursos naturais globais (dinâmica do mundo).

Considerando tudo isso, o homem pode ser considerado mais criador do que descobridor. O futuro, muito complexo para previsões ou para ser planejado: terá que ser criado. Nessa visão pragmática da realidade, projeto ou reprojeto são conceitos-chave da perspectiva de sistema. Em especial, quando se deseja um mundo melhor, via construção ou melhoria de sistemas existentes.

Projeto envolve processos necessários para entender o problema, gerar soluções e testar soluções. Projeto de sistemas é um procedimento formal onde recursos humanos, artefatos, técnicas, informação e trabalho se integram em um sistema de forma a facilitar seu funcionamento.

A mais recente perspectiva, quando se investiga sistemas, é a **teleologia**, doutrina em que o comportamento e a estrutura de um sistema obedece a um objetivo final. A teleologia indica que o sistema é guiado não apenas por forças mecânicas, mas também procurando a auto-realização. Aqui, organizações e organismos tem seus próprios objetivos, enquanto que artefatos (como máquinas) servem apenas a objetivos de outros, não possuindo os seus próprios.

Sistemas complexos podem, então, ser estudados de vários pontos de vista que são complementares, e não competitivos. As ferramentas desse domínio, redes de telecomunicações, computadores, bases de dados, etc., são encontradas na Informática. Um efeito dessa abordagem sistêmica é que subconjuntos de áreas científicas tradicionais se uniram formando novas disciplinas.

Ciência da Complexidade, que inclui Organização Biológica, Matemática Computacional, Física, Computação Paralela, Sistemas Não Lineares, Teoria do Caos e Redes Neurais e Conexionistas.

Isso estimulou definições de novas qualidades sistêmicas recíprocas:

Complexidade/simplicidade
Simulativo/não simulativo

Uma nova quantificação de complexidade foi introduzida: a complexidade de algo pode ser definida pelo tamanho mais curto (algoritmo) possível de sua descrição. A teoria da complexidade trabalha entre dois extremos:

Caos completo
Ordem completa

Há, também, mais disciplinas ligadas à ciência de sistemas, como Cibernética, Biônica e C³I. Em Cibernética, criada por Norbert Wiener, em 1948, os sistemas vivos são estudados através de analogia com sistemas físicos. A Biônica, cujo estudo de sistemas vivos tenta identificar conceitos aplicáveis em projeto de sistemas artificiais, foi criada por Major Steele, em 1958. Finalmente, C³I, que significa Command, Control, Communication and Intelligence, surgiu pela necessidade de trabalhar-se com modernos sistemas gerenciais, que são baseados no intercâmbio entre pessoas, organizações e suporte técnico. A ciência de sistemas aplicada como solucionador de problemas é, algumas vezes chamada de Cibernética Gerencial (SKYTTNER, 1996).

A ciência de sistemas, ocupada com projeto de estrutura organizacional, inclui:

Especificação de subtarefas e partição de trabalho
Projeto de comunicação entre subsistemas
Definição de áreas e autoridades para tomada de decisão
Projeto de sistemas de controle/coordenação visando os objetivos da organização

Uma das contribuições mais importantes da área de sistemas é que **fornece um vocabulário simples e um conjunto unificado de conceitos** aplicáveis a praticamente todas as áreas científicas

3 Características de Sistemas

No capítulo 1, você viu que um sistema pode ser formado da forma bottom-up (emergência) e também da forma top-down (teleologia). No capítulo 2, você viu como o conceito de sistema é aqui compreendido:

Um sistema é uma coleção de objetos de alguma forma interligados ou interdependentes que leva a um todo com alguma funcionalidade.

Neste capítulo você verá as principais características de um sistema, incluindo componentes e suas interrelações bem como alguns tipos de classificação.

I. Características básicas

Características são aspectos intrínsecos a um determinado tipo de objeto (neste caso, sistema, de um modo geral). Dessa forma, tais características valem para todos os sistemas, ou seja, são aspectos invariantes dos mesmos. Na compreensão de sistemas, vista no capítulo 2 e acima reproduzida, já é possível extrair-se duas dessas características: (a) todo sistema possui uma coleção de componentes ou de elementos; e (b) todo sistema possui um conjunto de relações entre seus componentes. São essas duas características que conseguem dotar o sistema das funcionalidades nele observadas. Ilustremos sistemas através de um exemplo, destacando-se seus

componentes e suas interrelações, como duas características básicas.

Seja um **computador digital**. Como foi construído pelo ser humano, sua construção é **teleológica**, isto é, foi projetado e construído com uma finalidade específica, o que o torna dirigido por um objetivo final. O sistema conhecido por computador é composto de objetos (**subsistemas: CPU, RAM, I/O, periféricos, etc.**) **interrelacionados** que leva a um todo com uma **funcionalidade específica** (capacidade de processamento), portanto está contemplado com o conceito de sistemas, segundo a compreensão aqui adotada. O **sistema computador**, então, está no nível hierárquico de sistema, e seus **componentes** no nível de sub-sistemas, Fig 3.1.

O sub-sistema **CPU** (Central Processing Unit), é a Unidade Central de Processamento. É nela que são executadas as instruções que são armazenadas no sub-sistema **RAM** (Random Access Memory), que é uma memória de acesso aleatório, também conhecida como memória primária, onde os dados podem ser gravados e lidos, tanto pelo sub-sistema CPU quanto pelo sub-sistema I/O. Já o objeto I/O (Input/Output), representando os dispositivos de entrada (I - input) e os de saída (O - output), é o sub-sistema responsável pela comunicação entre o computador, seu usuário e outros equipamentos, inclusive outros computadores. Há, por fim, o Barramento (Bus), onde é feita a ligação física entre os componentes internos do computador. As interrelações entre esses componentes é que faz surgir o sistema que se conhece pelo nome de **computador**. Observe que o computador não surgiu espontaneamente. Ele foi projetado, desenvolvido e implementado. Havia uma figura por trás de tudo isso, o projetista, o arquiteto. O objetivo final era o próprio computador. Portanto **o computador é um sistema teleológico**. A Fig 3-2 ilustra as interrelações entre os componentes de um computador. Possíveis falhas nessas

relações e/ou nesses componentes podem fazer com que você não disponha mais de um sistema, o computador, pelo menos em sua completa funcionalidade.

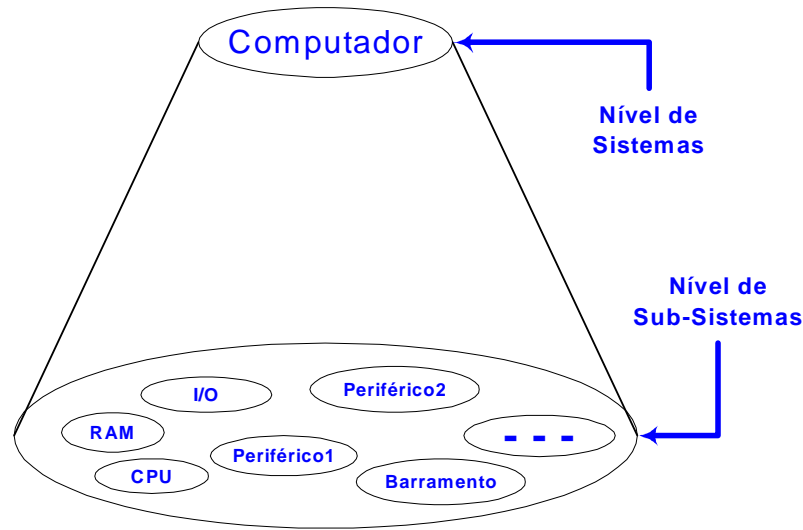


Figura 3-1: Computador como sistema; seus componentes como sub-sistemas.

A Fig 3-2, ilustra o que é conhecido por **Arquitetura de um Computador**, ou seja a forma como esses componentes se relacionam uns aos outros. Observe que a mesma ilustra o **conjunto de relações** entre os componentes do computador.

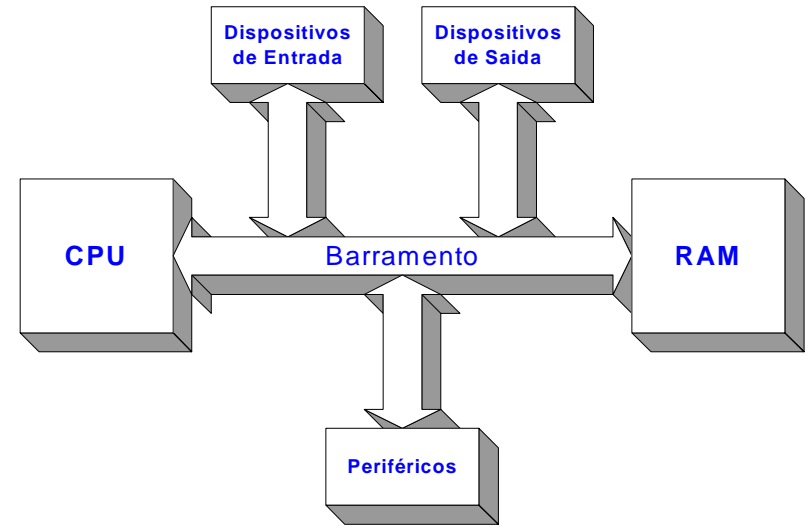


Figura 3-2: Computador, componentes e suas interrelações.

É similar a planta baixa de uma edificação (que também é um sistema teleológico), que ilustra a arquitetura da mesma, Fig. 3-3. Como a edificação é um sistema e, da mesma forma que o computador, também teleológico, é possível vê-la como uma estrutura hierárquica, onde os sub-sistemas seriam portas, janelas, corredores, pisos, telhado, etc. Uma figura ilustrativa do sistema edificação poderia ser feita, similar à Fig. 3-1.

Também, como ocorre no sistema computador, o sistema edificação é teleológico, isto é, houve um objetivo final, houve um arquiteto, um projetista, que queria chegar a esse sistema mesmo. Não surgiu ao acaso, portanto é teleológico.

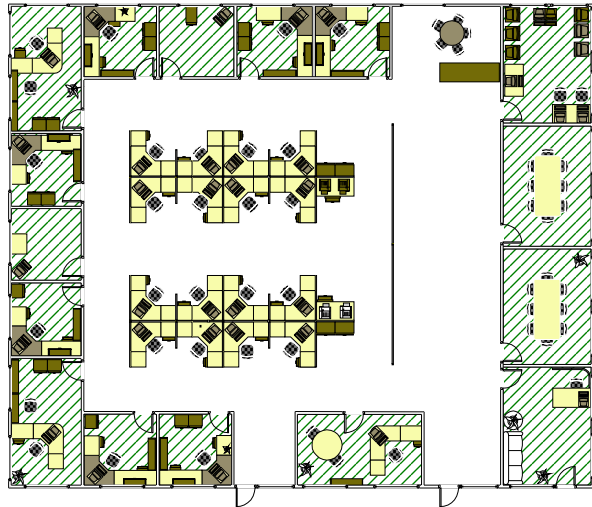


Figura 3-3: Arquitetura de uma edificação.

Evidentemente, a forma de surgimento de um sistema não poderia ser apenas, digamos, **binária**, ou seja, apenas **emergente** ou **teleológica**. Há que se propor **sistemas mistos**, onde há um pouco das duas formas em seu surgimento. Isso pode ser benéfico (ou uma tragédia), tanto para sistemas teleológicos quanto para sistemas emergentes.

Vejam um exemplo que é benéfico para quem projeta um sistema (teleológico). Uma pessoa decide construir uma empresa de criação de gado de corte. Sua tarefa é criar as condições adequadas para que o gado possa nascer, crescer e engordar. Veja que, nesse caso, ocorre uma intervenção do ser humano ao processo evolutivo. Quando atingir o peso desejado o animal estará pronto para o abate. O nascimento, crescimento e reprodução são deixados para o que chamamos de natureza. Muito pouca interferência no processo é feita pelo proprietário e/ou técnicos. A produtividade, então, é determinada por métricas como número de cabeças de gado,

tamanho do pasto, condições ambientais, alimentação, peso do animal, etc. Alguma força é dada para a natureza fazendo-se cruzamentos que tenderiam a melhorar a raça, claro. Não se pode negar que este sistema de produção de gado de corte seja teleológico, mas que aproveita a força da natureza, também.



Figura 3-4: Anúncio da Embrapa sobre o Programa GenePlus.

Fonte: <http://www.cnpqc.embrapa.br/>, 05 abr 2004.

Mas suponha que o proprietário queira ampliar a produtividade de maneira significativa, por exemplo, com melhoramento genético e uso de técnicas modernas (EMBRAPA, 2004). Uma idéia poderia ser o uso de inseminação artificial, que efetua a coleta do semen e o usa para fecundar um número bem maior de vacas. Neste caso a fecundação é feita de forma planejada, e não ao acaso, como antes. Não se pode denominar este sistema de emergente, pois houve intervenção humana e nem tampouco de teleológico, pois a única coisa feita pelo ser humano foi o planejamento da fecundação. Todo o resto é com a natureza. É um típico exemplo de sistema misto: há um pouco de surgimento emergente e um pouco do teleológico, simultaneamente.

Um outro exemplo pode ser tirado da entrevista que o empresário e professor da Universidade de Harvard, Ricardo Semler, concedeu à revista Época (HORTA, 2004), de onde um pequeno trecho da matéria é ilustrado:

No início da década de 80 especialistas em administração previam um futuro pouco promissor para o jovem Ricardo Semler. Aos 21 anos, ele assumira a empresa de compressores do pai e implantara um modelo de gestão baseado na democracia total. Os funcionários passaram a

fazer os próprios horários, discutir com os chefes a estratégia do negócio e tirar sonecas nas redes instaladas na sede da empresa, em São Paulo. Mas a Semco não virou uma bagunça, nem foi à falência, como alguns temiam. Hoje fatura US\$ 160 milhões, tem 3 mil empregados e vem registrando taxas de crescimento médias de 30% ao ano, inclusive em 2003, quando a economia parou. Só neste mês, será assunto de documentários de TV na inglesa BBC, na americana CNN e na francesa TF1. O desempenho da empresa transformou Semler em um guru empresarial e autor de best-sellers.

Em seu primeiro livro (SEMLER, 2002), o autor fala em tentar conseguir passar um mês sem que sua ausência fosse notada na empresa. Quando ele conseguisse isso, consideraria-se um bom administrador. Nessa entrevista, Semler, Fig. 3-5, afirma (HORTA, 2004):

"Eu, há pouco tempo comemorei dez anos sem tomar uma decisão sequer. meu interesse é pelo processo, pela arquitetura da organização"

E sua empresa passou de cerca de 100 para mais de 3000 funcionários. Ninguém o pode chamar de administrador deficiente. Pelo contrário, ele mostrou que excesso de controle, de autoritarismo pode ser não ser benéfico para a organização. Seja ela, econômica, educacional, tecnológico-científica, social, etc. É de um sistema misto que estamos tratando. Parte teleológica, parte emergente. E viva Ricardo Semler.



Figura 3-5: Ricardo Semler.

Fonte: <http://www.twbookmark.com/images/91/25237.jpg>, 27 abr 2004.

Há outras características de sistemas, além das já citadas (conjunto de elementos e suas interrelações), que são válidas para qualquer sistema. uma é a **idéia** sistema. Isso mesmo. Sistema é, em princípio, isso mesmo: uma **idéia**, uma **abstração**. Os elementos que o compõem podem ser concretos e/ou abstratos. Em outras palavras, um elemento componente de um sistema pode ter uma existência física ou pode simplesmente ser uma construção mental.

Um sistema como o **computador**, acima citado, por exemplo, só possui elementos concretos: CPU, I/O, Memória, etc. Já um sistema **monetário**, por sua vez, possui tanto elementos concretos (como cédulas, moedas, bancos), como elementos abstratos (valor monetário das cédulas, moedas, taxas de juros, etc.). E, ainda, há sistemas compostos de elementos abstratos, apenas (como, por exemplo, o seu sistema de **juízo de beleza**: você vê uma mulher, passa a referida imagem por esse sistema e, na saída do mesmo há uma resposta do tipo: linda, feia, mais-ou-menos, etc.).

m. Hierarquia de Sistemas

Outra característica relativa a todos os sistemas é a **hierarquia**. E, em níveis infinitamente crescentes e infinitamente

decrecentes, como visto na Fig. 1-14, e aqui reproduzida, Fig. 3-6.

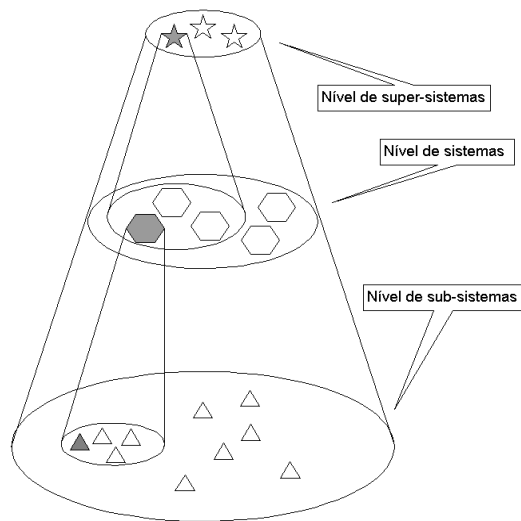


Figura 3-6: Níveis hierárquicos de sistemas

Observe na Fig. 3-6 que, enquanto um elemento pertencente ao **nível hierárquico de sistemas** pode ser considerado um **sistema**, cujos componentes se encontram em um nível hierárquico imediatamente inferior (**nível hierárquico de sub-sistemas**). Este mesmo elemento (no **nível hierárquico de sistemas**) pode ser apenas um elemento de um outro **sistema** situado em um nível imediatamente superior (**nível hierárquico de super-sistemas**). E este conjunto de níveis hierárquicos pode crescer indefinidamente bem como decrescer indefinidamente.

A matemática é uma ferramenta fundamental para todas as áreas do conhecimento científico. É uma linguagem formal (pois cada sentença admite apenas uma interpretação) na qual é possível construir modelos capazes de representar fenômenos observados na natureza bem como sistemas e

processos de nosso dia-a-dia. Não é privilégio de países como o Brasil, nem de outro considerado sub-desenvolvido (hoje se usa a expressão em desenvolvimento, por ser uma expressão menos áspera mas que, no fundo, representa a mesma coisa), a existência de dificuldades no ensino da matemática e de outras disciplinas básicas para a formação de massa crítica capaz de tirar o país do atoleiro em que está patinando. Julieta Fierro e Adolfo Sánchez Valenzuela, em belo artigo (FIERRO-VALENZUELA, 2004), sugerem que o aprendizado de ciências deve ser feito apropriando-se dela. E mais, que isso pode acontecer de forma divertida e interessante e entretida. Para tal, há que se atuar por um momento como cientistas: aprendendo-se a sentir a curiosidade por entender, por exemplo, perguntando-se como funciona um aparelho ou por que acontecem os fenômenos que observamos na natureza. Foi esse espírito que orientou, praticamente, todo o desenvolvimento da matemática: curiosidade.

Não seria diferente com qualquer outra disciplina, incluindo-se a Teoria Geral de Sistemas, claro. O conceito de hierarquia, em sistemas, pode nos dar a dimensão relativa entre nós mesmos e os demais componentes de nosso universo conhecido. Por exemplo, o **egocentrismo** observado em seres humanos pode chegar às raias do conceito de **ridículo**. Alguns seres humanos tem forte tendência em achar-se o **rei-da-batata-frita**. Nada mais ridículo do essa pretensão: nosso tamanho em relação a nosso planeta Terra já é ínfimo. Nosso planeta está bem longe em tamanho do gigante Júpiter que, por sua vez, é apenas uma pequena parte de nosso sistema solar, onde o sol é apenas uma estrela (e, ainda, nem é uma das maiores) de nossa galáxia, a Via Láctea, Fig. 3-7, que contém cerca de 100 bilhões de estrelas. E quantas galáxias há, aproximadamente em nosso universo conhecido? O número exato, claro, é desconhecido, mas os astrônomos estimam em, pelo menos, vários bilhões de galáxias. E, aguçando nossa curiosidade, como é que eles fazem essa

estimativa? Bem, observa-se uma área restrita do céu e contam-se as galáxias nessa área. O resultado é usado para fazer a estimativa de galáxias no céu inteiro. Pode-se não saber o valor exato, mas o número delas, qualquer que seja, não será menor que o estimado.

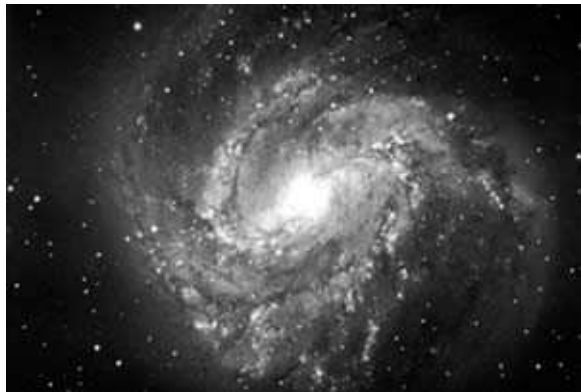


Figura 3-7: Via Láctea.

Fonte: <http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2003/marzo/fotos/via%20lactea.jpg>, 01 mai 2004.

Um bom exemplo de hierarquia de sistemas pode ser visto na implementação Java intitulada **Por Dentro do Universo**, feita pela Florida State University (FSU, 2004). É como se você, inicialmente, estivesse a alguns milhões de anos-luz distante de nossa galáxia (a Via Láctea) viajando em sua direção. Passo-a-passo, você iria se aproximando dela. Quando você está distante da Via Láctea, você teria a idéia do **sistema universo**, composto de galáxias, buracos negros, etc. A Via Láctea é apenas um dos componentes do universo. Quando você chega em nossa galáxia nessa viagem virtual, você a vê como um **sistema Via Láctea**, composto de uma grande quantidade de astros celestes (estrelas, planetas, etc.). Continuando em sua viagem virtual, você chega ao nosso **sistema solar**, composto de planetas, satélites, cometas, etc.

Em seguida você chega ao nosso planeta Terra, **sistema Terra**, composto de rochas, gases, água, etc. Em seguida, você aterrissa em um local (comunidade) na Terra, **sistema comunidade**, composto de casas, ruas, árvores, etc. Continuando sua viagem virtual, você chega a um **sistema árvore** (organismo), composto de tronco, folhas, raízes, etc. O próximo sistema visitado é uma folha, **sistema folha**, composto de clorofila e outras substâncias. Em seguida, você visita uma molécula, sistema molécula, composta de átomos. Depois vem o **sistema átomo**, **sistema núcleo do átomo** para, finalmente, chegar ao **nível sub-atômico**. Na implementação você também pode viajar no sentido inverso. Veja que, em princípio, não há limites para a viagem virtual. Tanto no sentido decrescente quanto no sentido crescente. Certamente, a implementação parou por aí, simplesmente pelo fato de ser o limiar do conhecimento humano até este começo de século XXI. Quem sabe este conhecimento não pode ser ampliado em um futuro próximo, para que nossa viagem virtual pudesse ir além deste universo conhecido e para níveis hierárquicos inferiores aos das partículas sub-atômicas? Enquanto isso não acontece, a vida segue ..., serena.

n. Sobre Classificação de Sistemas

Há várias formas de classificação de sistemas. Aqui serão abordados alguns tipos mais utilizados, já que este é um texto básico didático sem nenhuma pretensão de esgotar o assunto. E como um **avant-première** e classificação de sistemas, considere os **sistemas estáticos** e os **sistemas dinâmicos**.

Sistemas estáticos são sistemas que mais fáceis de lidar que os sistemas dinâmicos, pois são, em geral regidos por **equações algébricas**. Já os sistemas dinâmicos o são por **equações diferenciais** (quando são sistemas contínuos) ou **equações de diferença** (quando são **sistemas discretos**).

Um exemplo de sistema estático é um sistema identificador individual de estudante na universidade (você entra com o número de matrícula e o sistema responde com o nome do estudante), Fig. 3-8.

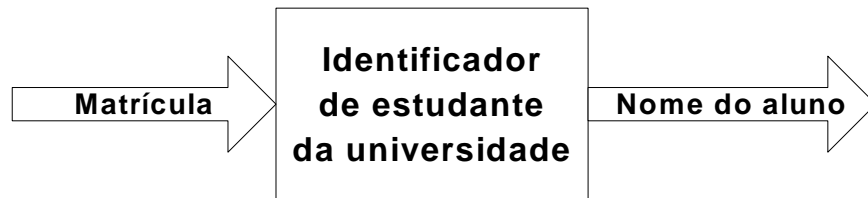


Figura 3-8: Um exemplo de sistema estático.

Um exemplo de sistema dinâmico é um pêndulo simples (você aplica uma força inicial e o pêndulo fica oscilando até parar), Fig 3-9.

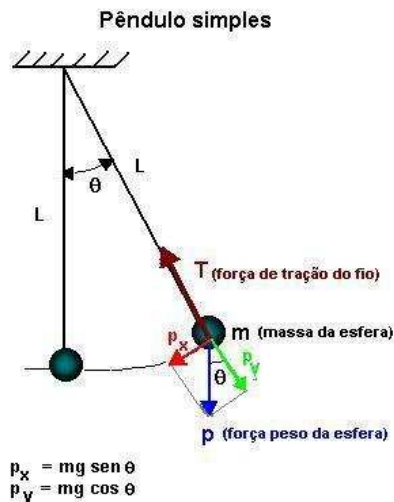


Figura 3-9: Um exemplo de sistema dinâmico.
 Fonte: <http://educar.sc.usp.br/sam/pendulo.jpg>, 04 mai 2004.

Os sistemas estáticos são **memoryless**, isto é, não são providos de memória, ao passo que sistemas dinâmicos são. Isso quer dizer que, nos sistemas dinâmicos, uma mesma força aplicada duas vezes ao pêndulo, por exemplo, pode provocar reações diferentes, pois dependem das condições iniciais do pêndulo. Ao contrário, o exemplo da Fig 3-8 responderá da mesma forma se o número de matrícula aplicado à sua entrada for o mesmo.

Os requisitos de recursos de um sistema estático não se modificam com variações ambientais. É como se o sistema estático estivesse **esperando a morte chegar**.

Outras classificações de sistema são: sistemas **concretos**, **conceituais** e **abstratos**. Os sistemas concretos (algumas vezes chamados de sistemas físicos) existem na realidade física de espaço e tempo (SKYTTNER, 1996). Os sistemas concretos podem ainda ser sistemas com vida (naturais) e e sistemas sem vida (feitos pelo ser humano). Organismo e pêndulo simples são exemplos de sistemas concretos.

Os sistemas conceituais são compostos de organizações de idéias expressas de forma simbólicas (SKYTTNER, 1996). Um sistema conceitual pode existir dentro de um sistema concreto. O exemplo que SKYTTNER (1996) nos dá é uma planta (sistema abstrato) que existe dentro de um computador (sistema concreto), antes mesmo de sua construção. Um sistema conceitual (por exemplo, os 10 Mandamentos da religião católica) pode também regular a operação de um sistema físico (o ser humano).

Já em um sistema abstrato todos os componentes são conceitos. Em psicologia, por exemplo, as estruturas de processos psíquicos são descritas por meio de um sistema de conceitos abstratos (SKYTTNER, 1996).

Vamos a uma seqüência de tipos importantes de sistemas (SKYTTNER, 1996):

- **Sistemas Abertos**
- **Sistemas com Estrutura Fixa (Framework Systems)**
- **Sistemas Mecanismo de Relógio (Clockwork Systems)**
- **Sistemas Cibernéticos**
- **Sistemas de Crescimento Planejado (Blueprinted Growth Systems)**
- **Sistemas com Imagem Interna**
- **Sistemas com Processamento Simbólico**
- **Sistemas Sociais**
- **Sistemas Transcendentais**

Será visto, de forma sucinta, o que significam esses tipos de sistemas e, na medida do possível, serão apresentados exemplos com vistas à simples ilustração dos mesmos.

o. Sistemas Abertos

É interessante iniciar falando de **sistemas fechados**, nos quais a **entropia tende a crescer**, ou seja, nos sistemas fechados a energia disponível para realização de trabalho tende a decrescer, levando o sistema a um estado de equilíbrio final (e dele jamais se afastando). Obviamente, um sistema aberto é aquele que não é fechado.

Há discussões intermináveis sobre a definição de sistemas abertos. Aqui será usada a interpretação estabelecida por Bertalanffy (1969), onde a diferença entre sistema fechado e sistema aberto é que, **em um sistema aberto, a troca de energia/massa/informação com seu ambiente é permitida**, ao contrário de um sistema fechado onde essa troca não é possível. É por isso que, em sistemas fechados a entropia tende a crescer, levando-o a um estado de equilíbrio final, dele não

mais se afastando (as vezes isso pode ser interpretado como colapso do sistema).

Bertalanffy dá dois exemplos de sistemas fechados. O primeiro decorre da Física Clássica, que trabalha apenas com **sistemas fechados** (BERTALANFFY, 1969), **sistemas que são isolados de seu ambiente**: o movimento de planetas no sistema solar, Fig. 3-10, onde a posição de um planeta em um tempo, t , é inequivocamente determinada pela sua posição inicial, t_0 .

O outro exemplo de sistema fechado dado por Bertalanffy vem da Físico-Química, onde reações químicas, Fig. 3-11, ocorrem em vasos fechados, sem contato com o ambiente: o equilíbrio químico, ou seja, as concentrações finais dos reagentes naturalmente dependem das concentrações iniciais (BERTALANFFY, 1969).

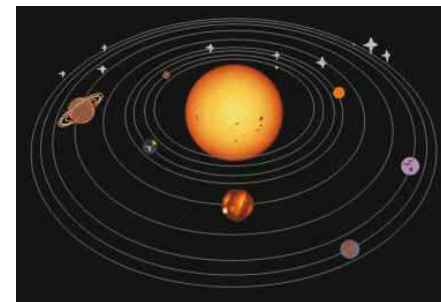


Figura 3-10: Sistema Solar.

Fonte:

<http://www.iac.es/gabinete/difus/ciencia/annia/images/ss.jpg>, <http://www.ibiblio.org/obp/electricCircuits/DC/00393.png>
30 abr 2004

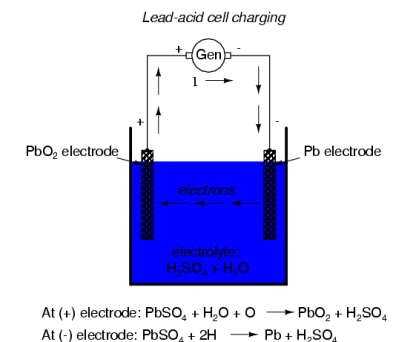


Figura 3-11: Reação química.

Veja que, se as condições iniciais forem alteradas nos exemplos citados de sistemas fechados, o estado final de equilíbrio também será alterado. Isso não acontece com sistemas abertos, para os quais, o mesmo estado final de equilíbrio pode ser alcançado a partir de condições iniciais diferentes. Essa característica é denominada de **equifinalidade**, que é aplicada apenas a sistemas abertos

(BERTALANFFY, 1969), e que é extremamente importante para o fenômeno da **regulação biológica**.



Figura 3-12: Projeto Marte, da Nasa.

<http://www.arctic-mars.org/images/2001/110201/PB020009-HMPBaseCampDetail.med.jpg>,
30 abr 2004.

Imagine um sistema como o **Projeto Haughton-Marte** (NASA, 2004), cuja vista aérea pode ser vista na Fig. 3-12, criado na ilha de Devon, localizada no Território de Nunavut, no Canadá. Criou-se um ambiente que simula as condições para a sobrevivência de seres humanos no Planeta Marte. Há um espaço coberto com uma cúpula transparente onde não há possibilidade de troca de ar com o ambiente exterior. Nele coloca-se uma certa quantidade de água e outras substâncias em quantidades suficientes para iniciar-se o processo, cujo uso é necessariamente reciclável, e todo o oxigênio, por exemplo, necessário à sobrevivência dos seres humanos nele inseridos é gerado via fotossíntese das plantas ali cultivadas. Caso esse sistema fosse fechado não haveria possibilidade de sobrevivência humana, pois nem a fotossíntese seria possível, o que esgotaria todo o oxigênio do recinto, pois a principal fonte de energia é do sol, como acontece na superfície do Planeta Marte. Esse sistema é, portanto, um belo exemplo de sistema aberto.

Como nos ensina Bertalanffy, nos sistemas abertos há a possibilidade de troca com seu ambiente de informação/massa/energia. Todo sistema orgânico

(organismo) é um sistema aberto. É de seu ambiente que o organismo retira o sustento para a sua sobrevivência, devolvendo ao mesmo, o que resta deste processamento vital. Uma célula é outro exemplo de sistema aberto.

Uma empresa também é um sistema aberto, pois a troca de informação/massa/energia (aqui representada pelas relações comerciais, industriais, etc.) com seu ambiente (mercado, governo e outras forças) é fundamental para sua sobrevivência, Fig. 3-13.

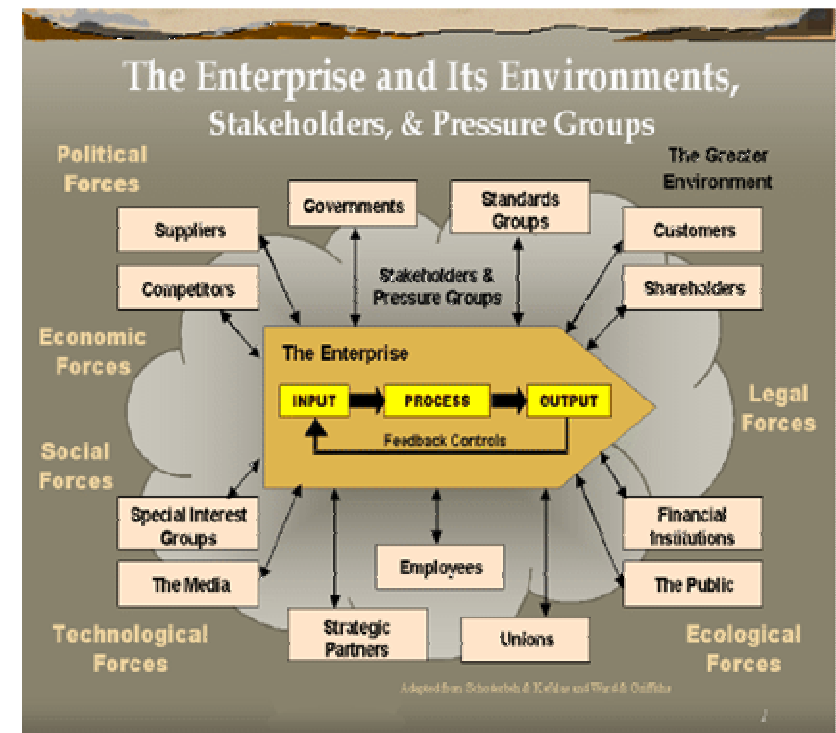


Figura 3-13: A empresa e seu ambiente.

Fonte: <http://www.acf.hhs.gov/nhsitrc/images/guides/foundations/ent-env.gif>, 01 mai 2004.

Veja que a empresa é um sistema com realimentação em seu processamento. E como um sistema aberto, pode trocar energia/massa/informação com seu ambiente. Nesse ambiente há forças que atuam direta e indiretamente no sistema

empresa: políticas, econômicas, sociais, tecnológicas, ecológicas e legais. Há também outras forças atuando como grupos de pressão: empregados, mídia, parceiros estratégicos, público, fornecedores, governo, competidores, fornecedores, dentre outros. Se o sistema empresa não tiver a funcionalidade de adaptação ao seu ambiente, pode estar caminhando para o seu colapso. Inegavelmente, a empresa é um sistema aberto.

Um sistema, então, pode ser fechado (sem interação com o resto do mundo, ambiente) ou aberto (tendo essa interação).

Um computador, como visto, é um sistema. E, como tem a funcionalidade de interagir com seu ambiente e com outros sistemas, via suas entradas e saídas, também é um sistema aberto. E, como sistema aberto, não está imune à contaminação por vírus computacional, à invasão por piratas eletrônicos e muito menos por males causados por usuários e por falta de qualidade na energia que retira de seu ambiente. Por ser um sistema aberto (neste ponto similar a uma empresa), é muito dependente de seu ambiente.

p. Sistemas com Estrutura Fixa (Framework)

Em sistemas tipo estrutura fixa (framework) há, como o próprio nome o diz, uma estrutura pré-determinada, o que torna estática sua estrutura. Essa estrutura, ou formato, acompanha o sistema em toda a sua existência. Um bom exemplo é a forma de apresentação da rede de TV Bloomberg, Fig 3-14, onde há quadros de tamanhos e posições fixos, cada um com uma finalidade específica. Um quadro fornece dados sobre, por exemplo, o mercado financeiro, outro sobre esportes, outro sobre noticiário, e assim por diante.



Figura 3-14: Rede de TV Bloomberg (framework).

Fonte: <http://www.marathe.net/jay/profile/media/medialogos/bloomberg.jpg>, 01 mai 2004.

Outro exemplo é o fogão a gás, Fig. 3-15. Há um certo número de bocas por onde o fogo aquece panelas, na parte de cima (em geral com uma tampa), há forno com porta, há a entrada de alimentação de gás, há botões de regulagem de temperatura do fogo, etc. Em geral, você reconhece vários objetos como fogão, ainda que eles sejam diferentes entre si. É por isso que são sistemas do tipo estrutura fixa (framework).



Figura 3-15: Fogão como um sistema tipo estrutura fixa.

Fonte: <http://www.ogormans.co.uk/images/Zcm-610x.JPG>, 01 mai 2004.

Um relógio analógico também é um sistema do tipo estrutura fixa. Todo relógio analógico possui um conjunto de ponteiros que giram em torno de um eixo perpendicular ao plano do mesmo, e um conjunto de números ou símbolos, indicando as horas minutos e segundos ao passar dos ponteiros. Alguns,

mais sofisticados, ainda possuem mecanismos de alarme/sinos indicando as horas de forma sonora, etc.

Um sistema de transporte aéreo de passageiros, nosso conhecido avião comercial, é outro exemplo de sistema do tipo estrutura fixa. Todo avião possui asas, fuselagem, lemes, cabine de comando, trem de pouso, etc. E essa estrutura fixa o acompanha por toda sua vida útil.

Um sistema de transporte de mercadorias em um supermercado também é do tipo estrutura fixa, pois seu formato é praticamente constante: possui rodas para seu deslocamento, lugar para acondicionar a mercadoria, lugar para o empurrá-lo, feito com largura capaz de passar através do estreito espaço entre os caixas, etc. Em geral é feito com grade metálica, mas pode ser feito de outro tipo de material.

Há também arranjos de átomos em cristais, Fig. 3-16. Observe que sua estrutura é estática, portanto framework. Mudou o arranjo, muda o cristal. Plantas também são exemplos de framework, assim como células, arranjo de flores em um vaso, etc. Uma vantagem de sistemas do tipo estrutura fixa é que seu formato facilita sua identificação.

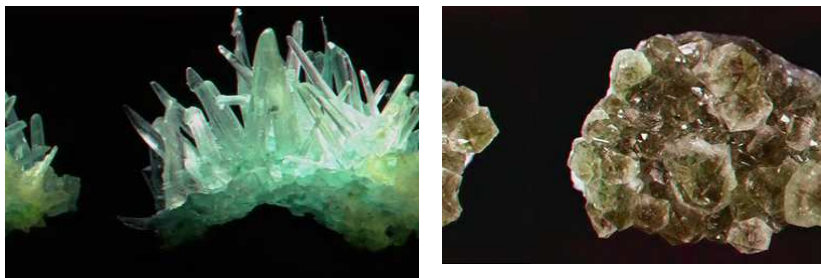


Figura 3-16: Arranjos de átomos em cristais - framework.

q. Sistemas Mecanismo de Relógio (Clockwork)

Sistemas mecanismo de relógio são previsíveis em seu comportamento, pois são deterministas e causais. Nosso

sistema solar é um bom exemplo. Não fosse essa característica, seria muito mais difícil enviar um robzinho ao Planeta Marte, fazer previsão de eclipse solar e lunar, de passagem de cometas, etc.

De fato, a Física Newtoniana é aplicada a sistemas mecanismo de relógio. Não poder-se-ia deixar de citar o próprio relógio, que deu origem ao nome deste tipo de sistema. É previsível, caso esteja funcionando a contento, e é por isso mesmo que serve para nos orientar em relação à passagem do tempo.

Sistema em Tempo Real, como um sistema de controle de tráfego aéreo, Fig. 3-16, é outro exemplo de sistemas mecanismo de relógio, pois funcionam repetindo ciclos definidos em unidades de tempo precisas. Em cada desses ciclos todo o trabalho é executado.

Por exemplo, em um indústria de redução de alumina para a produção de alumínio, há um conjunto de recipientes, denominados **cubas**, onde a alumina é depositada em um banho eletrolítico. Através passagem de corrente elétrica, entre um anodo e um catodo, a alumina é reduzida para produzir o alumínio que é depositado no fundo da cuba, então fazendo parte do catodo, uma vez que é condutor de corrente elétrica, Fig. 3-17.

Dentre os problemas que o controle da redução tem que resolver é a altura do anodo em relação ao catodo. Essa variável é importante porque, dentre outras coisas, se o anodo tocar no alumínio que está depositado no fundo da cuba provocará um curto-circuito e a parada total de alimentação elétrica da fábrica.

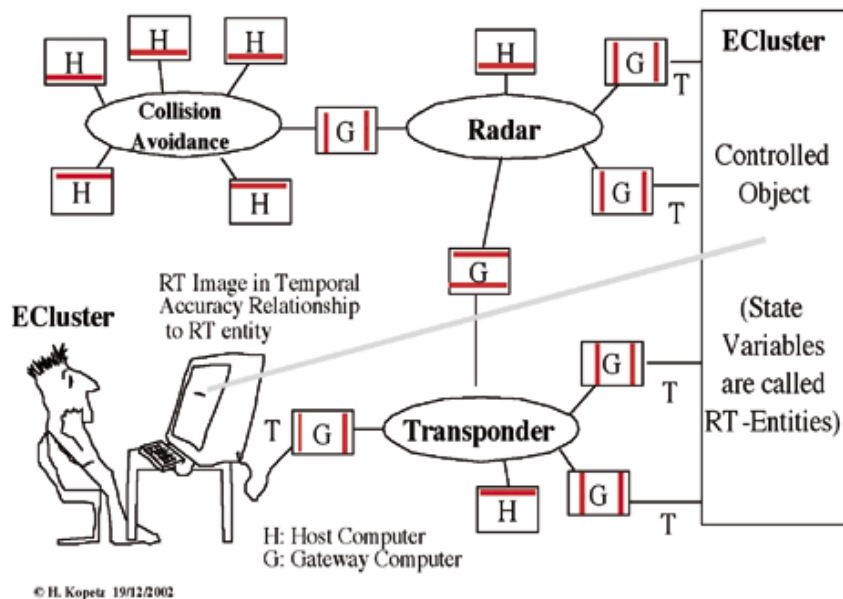


Figura 3-17: Sistema de Controle de Tráfego Aéreo.

Fonte: http://www.ercim.org/publication/Ercim_News/enw52/kopetz.gif, 01 mai 2004.

Agora, multiplique esse procedimento por centenas de cubas. O sistema de controle da redução de alumina na fábrica toda é executado em tempo real. Suponha que o program em tempo real que controla o sistema disponibiliza 2 minutos para varrer todas as centenas de cubas, o que sobra, para o controle de cada cuba, no máximo (considerando neste exemplo exatas 200 cubas) 6 décimos de segundo.

A conta é fácil de ser feita: 2 minutos correspondem a 120 segundos; esse tempo total de 120 segundos precisa ser dividido pelas 200 cubas, o que dá 0,6 s para cada cuba. Você até pode achar que é pouco tempo, mas não é. A rigor o tempo é bem menor que esse, pois o sistema precisa reservar tempo para fazer outras coisas associadas ao processamento.

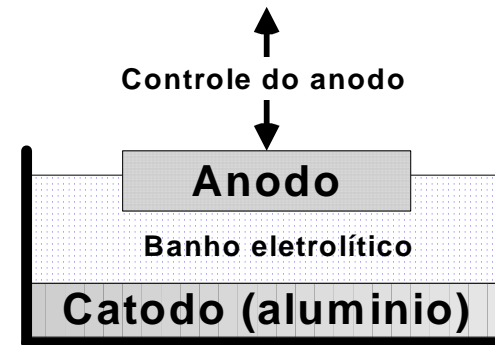


Figura 3-18: Controle de redução de alumina em produção de alumínio.

Se, por algum acaso, algum trabalho deixa de ser executado na unidade de tempo prevista, que neste exemplo foi especificado em 2 minutos, um mecanismo denominado cão-de-guarda (**watch-dog**) derruba (desliga) todo o sistema, uma vez que não pode mais garantir a eficiência para a qual o sistema foi projetado.

Veja que sistemas em tempo real nada tem a ver com sistemas on-line. Em sistemas on-line é permitida a existência de overhead (sobrecarga) de tempo, como em caixas bancários e acesso à Internet. Em sistemas em tempo real, não.

Sistema de combustão interna em motor a explosão, em condições normais de operação, também é do tipo mecanismo de relógio. Por exemplo, é possível visualizar-se quatro tempos: compressão, injeção de combustível, explosão e expansão do pistão. O processo se repete enquanto houver combustível e comando de funcionamento.

O horário de funcionamento de bancos é do tipo mecanismo de relógio, com hora para iniciar e hora para terminar. Isso se

repete diariamente. Há, claro, excepcionalidade. Mas, em condições normais, o sistema é do tipo mecanismo de relógio.

Uma característica de sistemas mecanismo de relógio é que o **controle de tempo de seu funcionamento é feito por relógio externo ao mesmo**, caso contrário não garantir-se-ia sua previsibilidade. Uma vantagem é que se conta com o sistema, sempre. Enquanto sua existência perdurar.

r. Sistemas Cibernéticos

Os sistemas cibernético possuem características de automação. São capazes de auto-regulação em termos de algum alvo ou objetivo (**set-point**) externamente especificado, como um termostato de uma geladeira, que mantém sua temperatura em um intervalo desejado, ou o sistema de controle de redução de alumina acima descrito.

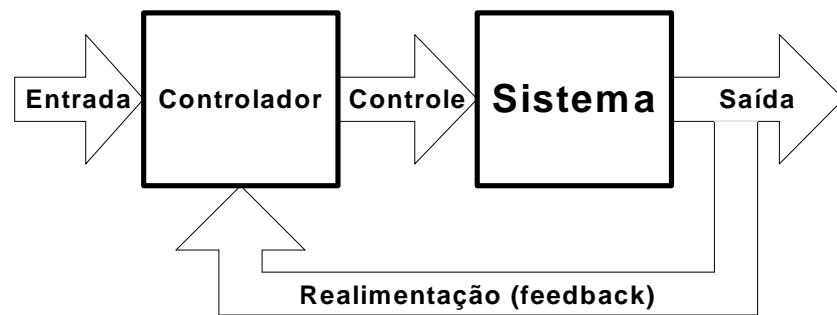


Figura 3-19: Sistema de controle (ou cibernético).

Um dos conceitos mais importantes em sistemas cibernéticos, ou de controle automático, é o de realimentação (**feedback**). É comum representar-se um sistema como uma caixa-preta, com entrada(s) e saída(s). A Fig. 3-19 representa um sistema cibernético, ou sistemas de controle. Na figura há duas caixas, onde as entradas e saídas estão representadas. Para a caixa **sistema**, há a **entrada** que foi denominada controle, e a **saída**. Já a caixa **controlador**, a **saída** foi denominada controle (que

é a entrada para a caixa sistema), e há duas entradas: (a) a **entrada**, propriamente dita, e (b) outra entrada denominada **realimentação**. O controlador pega a entrada ou **set-point**, compara com o sinal que vem da saída (realimentação), e gera, em sua saída, o que foi chamado de controle. A realimentação nada mais é do que a vinda da informação do que está ocorrendo na saída do sistema que se quer controlar (ou seja, do comportamento atual do sistema) para que o controlador possa comparar com o que se pretende que aconteça (isto é, o comportamento pretendido).

É bom quando você dá um presente a um amigo e vê sua reação, não? Mas, se ao dar o presente, o amigo simplesmente não apresenta nenhuma manifestação, seja de contentamento ou de desgosto, a coisa não fica boa, não é mesmo? Neste último caso, diz-se que o laço de realimentação (feedback) não está funcionando. É claro que todos gostaríamos de um feedback (realimentação) a cada ação que executamos. Isso é o feedback. E não há a menor possibilidade de se ter um sistema de controle (cibernético) sem a existência da realimentação. Um conceito, portanto, fundamental.

O organismo humano é um gigantesco repositório de sistemas cibernéticos. A medula espinhal dispõe de um sem número de servomecanismos que realizam tarefas como **arco-reflexo**, Fig. 3-20. Quando se toca em um objeto com temperatura capaz de queimar a pele, imediatamente (e sem nenhum tipo de raciocínio) afastamos nossa pele desse perigo de queimadura. Sabe-se que o comando para essa retirada é feito pelos servomecanismos residentes na medula espinhal, pois o tempo para que a informação sobre o perigo de queimadura chegasse ao nosso cérebro, fosse processada e, só então fosse enviado um comando para o afastamento da superfície em contato com o objeto quente, seria demasiado grande e com grandes possibilidades de queimadura.

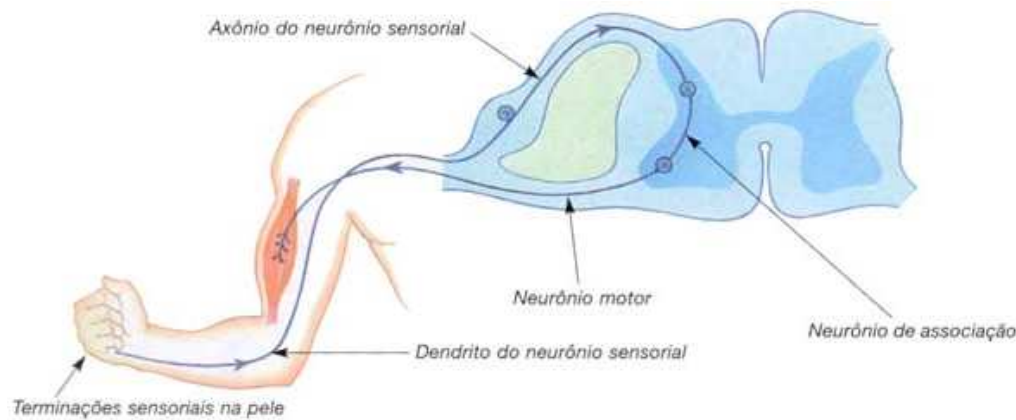


Figura 3-20: O arco-reflexo (um sistema cibernético).

Fonte: <http://www.isurp.com.br/aula/ciencia/Marcio/arco.jpg>, 06 mai 2004.

Como o servomecanismo controlador do arco-reflexo fica localizado na medula espinhal, esse tempo é significativamente reduzido e o organismo tem mais chance de se proteger. Veja que o arco-reflexo é absolutamente fundamental para a sobrevivência da espécie. Não fora através de mecanismos desse tipo a chance de sobrevivência da espécie seria drasticamente reduzida. Acredita-se que foi uma solução encontrada pela evolução para a fuga de predadores, dentre outros perigos para a sobrevivência.

Outro exemplo ainda do ser humano é o batimento cardíaco, que controla o fluxo sanguíneo em nosso corpo. Quando se anda devagar seu ritmo é lento. E é acelerado quando se corre. O mesmo ocorre com nossa respiração: ficamos ofegantes quando corremos, pois o organismo precisa de mais oxigênio. Podemos considerar o coração e o pulmão como duas bombas que funcionam **automaticamente**, daí serem **sistemas cibernéticos**. Não fosse assim, ocuparíamos nossas duas mãos para fazer esse bombeamento. Viva os sistemas cibernéticos.

Aqui é interessante introduzir o conceito de homeostase (SILVA, 2004):

A homeostase é a capacidade do organismo em manter uma estabilidade funcional relativa mesmo que ocorram alterações drásticas nos ambientes externo e interno. A homeostase é mantida por uma série de mecanismos de controle, alguns funcionando ao nível dos órgãos ou dos tecidos, outros a nível central. Para manter a homeostase as células e os tecidos reagem a alterações induzidas por agentes químicos, físicos ou biológicos, através de variados mecanismos de defesa - e a adaptação pode ser fisiológica ou patológica.

Programas de computador executados periodicamente, como os que fazem a desfragmentação de discos rígidos ou os que fazem verificação de existência de vírus (periodicamente ou quando há uma invasão de um vírus conhecido), são exemplos de sistema cibernético. Dependendo de agendamento (semanal, mensal, etc.) e desde que o computador esteja ligado, essa tarefa é executada automaticamente (sem nossa interferência). O mesmo ocorrendo quando há a invasão de um vírus conhecido, detetado e combatido também automaticamente.

É bom quando a gente chega a uma porta com as mãos ocupadas (e, ainda por cima, com uma pressa do cão), e a porta se abre automaticamente, não? Essa porta é ou não um sistema cibernético? Quando subimos em uma balança automática e a mesma nos apresenta nosso peso. Ou quando nos servimos de café em máquinas automáticas (depois de pagarmos, é claro). Uma miríade de artefatos cibernéticos já está disponível para venda.

Certamente há que se impor limites para uso de sistemas cibernéticos, caso contrário poderíamos terceirizar algumas

tarefas que nos são prazerosas. Um Ricardão robótico ou uma boneca inflável nunca são (pelo menos para algumas pessoas) substitutos à altura dos processos, digamos, naturais.

A **realimentação** (também conhecida por **retro-alimentação**) nos permite ter um **retorno** sobre os efeitos causados por ações aplicadas sobre um determinado sistema. É o que permite a automação de processos, como já visto. É duro tomar-se decisão sem realimentação (feedback). Quando a realimentação, por alguma razão não está funcionando a contento, acontece como a estorinha do motorista da carreta que pediu a uma pessoa que estava próxima a um muro que o ajudasse, pedindo: **quando bater, avisa!** E deu ré na carreta. De repente o muro caiu e a pessoa lá atrás gritou: **bateu!** A pessoa (auxiliar acidental) apenas fez o que o motorista solicitou, pois não inferiu que o motorista estava solicitando a **realimentação** de sua ação que era aproximar ao máximo a carreta do muro, sem o derrubar, é claro.

Você, ao dirigir um carro dentro da faixa destinada a passagem de veículos, utiliza realimentação, ou seja, você está vendo se o carro está dentro da faixa. Caso o mesmo comece a se aproximar do limite da faixa (e ameaçando ultrapassá-la), você pode tomar decisões que o traga para dentro da faixa novamente, como modificar a posição do volante. No filme **Perfume de Mulher**, onde Al Pacino (no papel de cego) dirigia um carro, a realimentação era feita por seu amigo, que o guiava nessa tarefa. Sem essa realimentação, impossível seria a pessoa cega dirigir um carro. A propósito, não é aconselhável pessoas com dificuldades visuais repetir o que o filme (ficção, claro) nos presenteou.

Suponha um sistema de controle de temperatura de uma sala. Suponha também que essa sala esteja em uma edificação situada em local de clima frio. A tal sistema de controle é requisitado que mantenha a sala aquecida em uma temperatura, digamos de **24 °C**. Esse sistema é composto,

grosso modo, por algumas peças: um **sensor de temperatura** (que mede a temperatura da sala), um **aquecedor** e um **comparador** de valores numéricos de temperaturas.

Todo o tempo o sensor está medindo a temperatura atual, **T**, da sala e comparando-a com a temperatura desejada (**24 °C**). Se a temperatura **T**, da sala, for menor que **24 °C**, então o aquecedor é ligado. Caso, por alguma razão, **T** for maior que **24 °C**, o aquecedor não será ligado, claro. O próprio frio exterior se encarregará de baixar a **T**, até que fique menor que **24 °C**, quando o mesmo será ligado. O diagrama da Fig. 3-21 ilustra esse sistema cibernético.

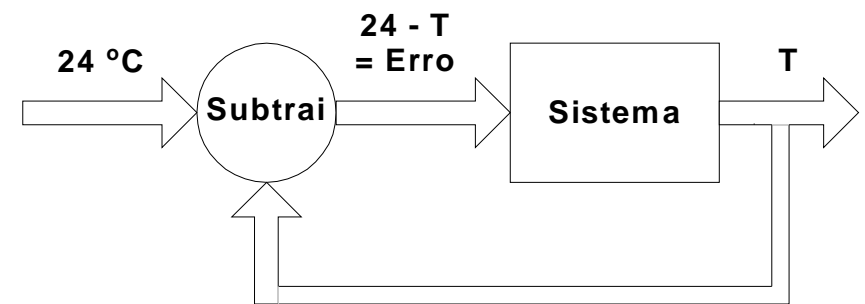


Figura 3-21: Sistema de Controle de Temperatura (Cibernético)

s. Sistemas de Crescimento Planejado (Blueprinted Growth)

São sistemas que se reproduzem não por duplicação, mas por projeto ou planejamento, ou seja, produzindo sementes ou ovos. O desenvolvimento feito por projeto através de instruções programadas, como árvores e pássaros (código genético). Essa denominação não é muito comum na literatura de sistemas, sendo aqui colocada pelo fato do autora considerar relevante.

t. Sistemas com Imagem Interna

São sistemas capazes de elaborar uma representação interna de seu ambiente, com algum nível de detalhamento. A informação é recebida e organizada em uma imagem interna ou estrutura de conhecimento, do ambiente. Exemplos de sistemas com imagem interna são os animais, em geral (HONG, 2004). A Fig. 3-22 ilustra esse processo no caso dos seres humanos (LEHAR, 2004).

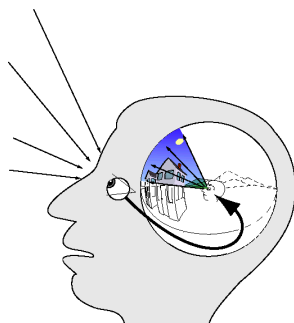


Figura 3-22: Steven Lehar e a representação interna.

Fonte: <http://cns-alumni.bu.edu/~slehar/webstuff/bubw3/bubw3.html>, 10 mai 2004.

Apesar da Fig. 3-22 ser originada do do trabalho de Lehar sobre Percepção Visual, aqui será utilizada apenas como uma metáfora que pode ser aplicada a empresas e a outros sistemas estudados na disciplina. O sistema dotado de uma imagem interna do ambiente onde está inserido, certamente, possui funcionalidade que o difere dos demais.

u. Sistemas com Processamento Simbólico

Sistemas que possuem capacidade de usar linguagem, como os seres humanos e, de forma ainda incipiente, os computadores. Os seres humanos cuja evolução os dotou da capacidade de uso de linguagem natural ainda são imbatíveis. Mas os computadores já começam a esboçar os primeiros

sinais de seu potencial para avançar nessa direção. A grande maioria das linguagens que o computador usa é formal, isto é, admite apenas uma interpretação, não admite dubiedade. No entanto, a área de Inteligência Artificial já caminhou razoavelmente desde a década de 1950 e já apresenta diversas aplicações de Processamento de Linguagem Natural, como alguns sistemas especialistas com essa interface. A idéia é criar sistemas artificiais dotados deste tipo de funcionalidade.

v. Sistemas Sociais

Sistemas cujos atores compartilham uma ordem social, como seres humanos, formigas, cupins, abelhas, etc. Em geral essa denominação se refere a animais.



Figura 3-23: Formigueiro.

Fonte: http://www.cse.ucsc.edu/~suzana/photos/ant_colony.jpg

Ao contrário do que se pode imaginar, o sistema social das formigas, ou cupins, ou abelhas, são sistemas extremamente organizados. Há divisão de trabalho e todos os componentes trabalham em prol do sistema, por vezes sacrificando a própria vida. Sistemas sociais, portanto, estão longe de serem privilégios de seres humanos.

4 Estados de Sistemas

Neste capítulo será abordado o conceito de estado de um sistema de forma didática e, sempre que possível, ilustrado com exemplos de aplicação diversos. Verá, também, que um sistema possui um único estado em um determinado instante de tempo. Finalmente, que uma **sequência de estados** percorridos por um sistema caracteriza o que é chamado de um **processo**.

w. Estado de um Sistema

Foi visto no capítulo anterior que um sistema estático não possui memória, enquanto que um sistema dinâmico o possui. Isso significa que em um sistema dinâmico as condições em que o mesmo se encontra são relevantes para a determinação de seu comportamento futuro.

Suponha que eu tenha o objetivo de ir para Florianópolis. Se já estou em Florianópolis, fico quieto, pois já tenho meu objetivo alcançado. Mas se estou, por exemplo, no Rio de Janeiro, tomo as providências para alcançar meu objetivo. Logo, meu comportamento futuro é ditado pelas condições em que me encontro. Em outras palavras, isso se chama **memória do sistema**. Para caracterizar a memória de um sistema dinâmico, usa-se um conceito conhecido como **estado**.

O estado de um sistema é definido como um conjunto mínimo de variáveis, cujos valores em um instante de tempo, t_0 , são

necessários para determinar a evolução do sistema em um instante futuro de tempo, t , em face de uma entrada (ou provocação, ou excitação), $e(t)$, observando-se a restrição $t > t_0$.

Essas variáveis (o conjunto mínimo delas) representam as condições em que o sistema se encontra, ou seja, a memória do mesmo. Por exemplo, suponha que você tenha uma garrafa de álcool. E, ainda, que seu conjunto mínimo de variáveis seja unitário (conjunto unitário é aquele que possui apenas um único elemento, ou seja, apenas uma variável). Seja essa única variável a quantidade de álcool em seu interior. Se essa garrafa for jogada em uma fogueira, a violência da explosão decorrente do contato do álcool com o fogo dependerá dessa variável, ou seja, da quantidade de álcool contida na garrafa. A explosão será mais violenta se o valor dessa variável (que é única a representar o estado do sistema) for maior.

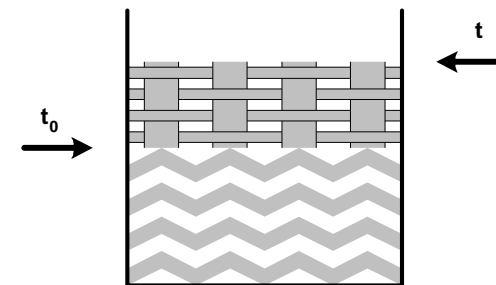


Figura 3-24: Estados de um sistema.

Considere agora a Fig. 4-1. Representa um tanque de água que está a encher. No instante de tempo t_0 , a altura da água é indicada na figura, bem como a altura em um instante de tempo futuro, t . Em cada desses dois instantes de tempo, o sistema está em um estado, isto é, a altura (que é a variável que representa o estado desse sistema) é diferente.

Posso, então, representar o estado desse tanque de água, como $e(h)$, onde e é o estado do sistema, e a letra h entre parênteses significa que esse estado depende da altura da água. Diz-se, então, que a altura e é uma função da altura h . E sua representação matemática é $e(h)$. O estado e depende, portanto de um único parâmetro, h . É comum dizer-se, também: $e(h)$ é função de uma única variável, h . E, é claro, há funções de mais de uma variável.

Considere outro exemplo de estado representado por uma função de uma única variável: sua conta bancária. Em um instante de tempo, t_0 , o saldo é, digamos, s_0 (= \$ 1.000,00). Em outro instante de tempo futuro (maior do t_0), t , o saldo passou para s (= \$ 500,00). Então o estado, e , de seu saldo bancário é $e(s)$.

Vejamos agora um exemplo de sistema em que seu estado é representado por mais de uma variável. Suponha o mesmo tanque de água. Só que agora a altura da água não mais é relevante para a nossa análise, e sim sua temperatura, T (primeira variável), e seu nível de oxigenação, O (segunda variável). Temos portanto caracterizado o estado, e , de nosso sistema, $e(T,O)$. Como se percebe, esse estado é representado por um conjunto de duas variáveis. Então, em um instante de tempo, t_0 , o estado do sistema é $e_0(T_0,O_0)$. E em outro instante de tempo futuro, é $e(T,O)$.

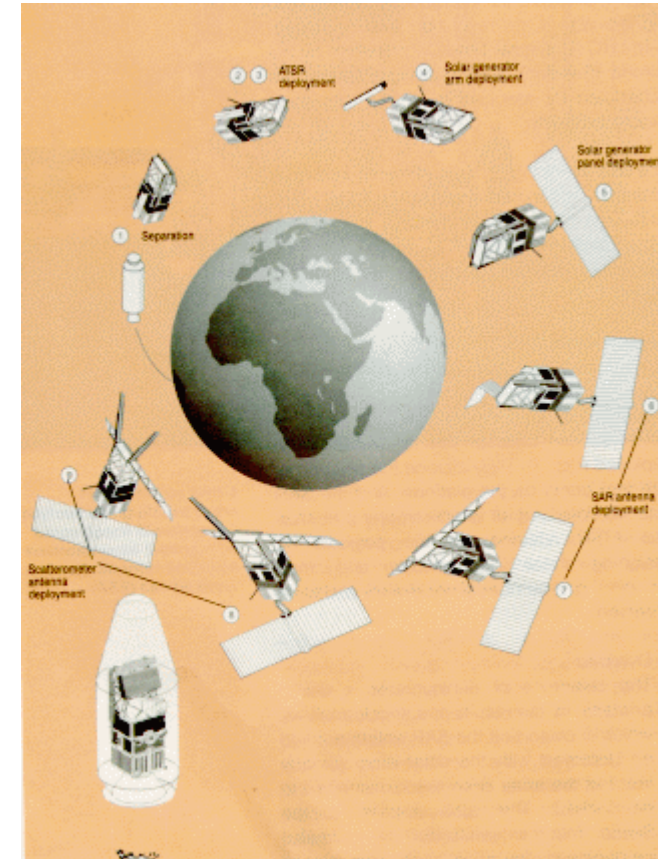


Figura 3-25: Sequência de estados em um sistema.

Fonte: <http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet83/images/franf7.gif>, 17 mai 2004.

Dá para notar que o estado de um sistema em um instante de tempo é tão somente uma fotografia desse sistema naquele instante de tempo. E, em cada desses instantes de tempo, os valores das variáveis representativas de seu estado adquirem valores específicos. Em um estado específico, as variáveis possuem valores específicos. Enquanto esses valores permanecerem constantes, o estado permanece o mesmo. Basta que apenas uma das variáveis tenha seu valor modificado para caracterizar outro estado. Claro que a

mudança de estado pode ser feita pela modificação de mais de uma variável de estado. Isso pode ser ilustrado pela Fig 4-2. Evidentemente que a nave é apenas uma. Mas a figura ilustra os varios estágios (cada um desses estágios é um estado do sistema). E o papel do controle da nave é atingir esses estados.

Veja que entre esses estados, há estados intermediários, que não são relevantes para a análise, e não são considerados. Mas é bom lembrar que os mesmos existem. Neste caso dizemos que o que existe entre os estados é simplesmente denominado de **transição de estado**.

O papel de uma UTI - Unidade de Terapia Intensiva, de um hospital, é tentar prolongar a vida do paciente para que os profissionais de saúde possam tentar ajudá-lo a salvar sua vida. Isso significa que o estado do paciente é crítico, caso contrário não estaria na UTI. O estado desse paciente é representado por um conjunto de poucas variáveis que, grosso modo, são:

1. Temperatura do corpo (T)
2. Concentração de oxigênio (O)
3. Batimento cardíaco (B)
4. Respiração (R)

O estado do paciente é representado em função dessas 4 variáveis, $e(T,O,B,R)$. A sobrevivência do paciente depende da evolução dos valores dessas variáveis, as quais podem indicar o tipo de ação a ser tomada pelos profissionais de saúde para prolongá-la. Essas variáveis são, então, monitoradas (medidas) de forma contínua, ou discreta em intervalos regulares (a cada 10 minutos, ou 20 minutos, etc.), para que a evolução do estado do paciente seja, também, periodicamente avaliada. Em cada intervalo de tempo é determinado o estado do paciente. E a avaliação global do paciente é feita a partir da evolução do sistema, ou seja, a partir dessa seqüência de estados, e_1, e_2, e_3 , etc.

x. Diagrama de Estado

Repetindo: nos exemplos houve mudança de estado do sistema. Algo deve ter provocado tal mudança. A essa mudança de estado, como dito, chamamos de **transição de estado**. Ou seja, foi provocada uma transição do estado do sistema. É comum representar-se um estado do sistema através de um círculo, como mostra a Fig. 4-3.

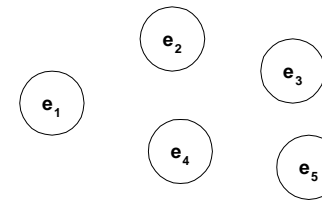


Figura 3-26: Representação de estados de sistemas.

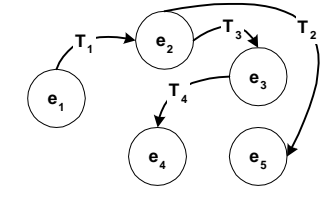


Figura 3-27: Representação de transição de estados.

Na Fig. 4-4, que é similar à Fig. 4-3, além da representação dos estados estão representadas as transições possíveis entre esses estados, através de setas. Note que, pela representação da Fig. 4-4, se o sistema está no estado e_2 , é possível alcançar os estados e_3 e e_5 , diretamente. E o estado e_4 , a partir do estado e_2 , apenas através do estado e_3 . Através da representação dos estados e de suas transições, é possível visualizar-se os estados possíveis que o sistema pode alcançar e mais, de que forma esses estados podem ser alcançados, a partir de sua condição inicial (estado antes da transição). Veja que a transição T_i , representada na Fig. 4-4, especifica a ação capaz de executar essa transição. A representação apresentada na Fig. 4-4 é tão importante que recebe um nome especial: **Diagrama de Estado** do sistema.

Um **diagrama de estado** é um **grafo direcionado (digraph - directed graph)**, com informação dos estados de um sistema dinâmico, usado para indicar de que forma as transições dos

estados de um sistema pode ser executada. É o que pode ser observado nos exemplos aqui citados. Há várias referências online sobre Teoria de Grafos. Recomenda-se o site do Prof. Caldwell (2004).

Vamos a alguns exemplos de sistemas e seus estados alcançáveis por transições específicas. Sempre que possível, esses exemplo serão ilustrados, para melhor visualização de conceitos.

y. Quebra-cabeças

A área de quebraças é rica sob vários pontos de vista. Primeiro por que emula as trilhas seguidas por cientistas e demais resolvedores de problemas. Thomas Kuhn, em seu livro *Estrutura das Revoluções Científicas* (1982), observa a importância dos quebra-cabeças nos processos de busca em pesquisa científica, dizendo que, para o cientista, não é o resultado final o mais relevante, e sim as pequenas soluções no caminho trilhado para a solução completa do problema em questão. Na realidade, segundo Kuhn, uma pesquisa científica nada mais é do que uma sucessão de quebra-cabeças, os quais precisam ser solucionados paulatinamente em busca da solução completa da pesquisa. Além disso, o exercício do raciocínio é fundamental para manter-se o cérebro saudável. Por essas razões, quebra-cabeças representa muito mais do que apenas diversão. É fundamental para a solução de problemas práticos, sejam eles encontrados no exercício de funções como executivos de empresas, programadores de computadores, projetistas de sistemas de informação, etc., bem como de tarefas cotidianas. Vamos a alguns quebra-cabeças, pois.

O primeiro a ser tratado é conhecido como **quadrado 15**, onde um conjunto de 15 peças quadradas é disposto em um

quadrado maior de 16 casas, sendo que uma delas está desocupada, conforme ilustrado na Fig 4-5.



Figura 3-28: Quadrado 15.

Fonte: <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/puzzles/fifteen.exe>, 17 mai 2004.

A Fig. 4-5 mostra um estado possível do sistema, o qual pode ser modificado (aqui denominado de transição, T) de apenas 3 formas, isto é, há apenas 3 transições de estados possíveis:

T₁: Deslocando-se o quadrado 8 para a direita.

T₁: Deslocando-se o quadrado 4 para a esquerda.

T₁: Deslocando-se o quadrado 13 para cima.

Veja que qualquer uma dessas 3 transições levam o sistema a um estado diferente do atual. É interessante, antes de continuar, que encontremos uma forma de representar os estados desse sistema, para não precisarmos trabalhar com os desenhos, que ocupam um espaço gigante, além de ser extremamente mais difícil de ser tratado por computador. Uma proposta de representação, já que a mesma não é única,

pode ser feita considerando-se seus quadrados menores como posições diferentes no quadrado maior, conforme a Fig. 4-6.

P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆

Figura 3-29: Posições fixas no quadrado maior.

Note que, nesta representação, as posições são fixas. E P_i indica a o valor na posição i. Portanto, qualquer estado deste sistema pode ser representado na forma:

$$e(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{16})$$



Figura 3-30: Quebra-cabeça quadrado 15.

Fonte: <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/puzzles/fifteen.exe>, 17 mai 2004.

Então, o estado do sistema, observado na Fig. 4-5, pode ser representado por:

$$e_i(1, 8, X, 4, 15, 10, 13, 12, 11, 3, 14, 2, 9, 6, 7, 5)$$

Note que a posição na qual não há quadrados, é representada pela letra **X**. Na última representação foi colocado um índice, **i**, indicando e_i como o estado inicial do sistema. Suponha que o estado final, isto é, o estado ao qual se quer chegar, seja e_f:

$$e_f(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, X)$$

Tem-se, portanto, a representação dos estados inicial e final do sistema. Para o estado final do sistema a Fig 4-7 o ilustra.

Tente fazer o diagrama de estado de uma possível solução para o quebra-cabeças da Fig 4-7, possivelmente com estados inicial e final diferentes dos aqui apresentados.

z. Equilíbrio de Estados de Sistemas

Se você desloca uma caixa em um plano horizontal, aplicando uma força paralela ao plano, seu deslocamento cessa quando você parar de aplicar a força. Isto acontece porque esse é um sistema **estático**, Fig. 4-8. Já se você soltar uma bolinha de gude na borda interior de uma xícara, ela deslocar-se-á em movimentos de subida e descida no interior da xícara até parar, devido ao atrito com a superfície de contato, Fig.4-9.

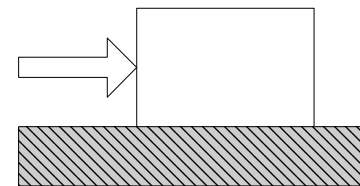


Figura 3-31: Movimento em sistema estático.

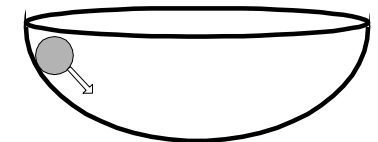


Figura 3-32: Movimento em sistema dinâmico.

É possível, como já visto, visualizar-se o movimento de um sistema dinâmico através da visualização de uma seqüência de estados do mesmo pois, como também já visto, cada estado do sistema, nada mais é do que uma "fotografia" do sistema em um determinado instante de tempo. Esta seqüência de estados representam "fotografias" do sistema em uma sucessão de instantes de tempo que permite, portanto, essa visualização do sistema.

A bolinha de gude na Fig. 4-9 está em uma posição que se pode considerar como seu estado inicial. Em cada posição alcançada em outro instante de tempo, outro estado do sistema é alcançado. Dá para notar que vários estados podem ser alcançados, claro, um para cada instante de tempo. A não ser o último, isto é, quando a bolinha de gude parar completamente, todos esses estados serão transitórios. A transição de cada um deles para o próximo estado é inevitável, com exceção do último, que permanecerá até que nova força desloque a bolinha de gude.

Esse último estado que é denominado **estado de equilíbrio estável**. Todos os outros não o são, uma vez que não se sustentam, permitindo a transição do sistema para outro estado. Fica claro, com isso, que o **conceito de estabilidade se aplica a estados** do sistema, **e não ao sistema** propriamente dito. Dizer-se que o sistema da Fig. 4-9 é estável não está correto, mas sim que **esse sistema alcançará um estado de equilíbrio estável**. No sistema da Fig. 4-8, já que é um sistema estático em uma superfície horizontal, diz-se que qualquer estado de equilíbrio é estável, pois uma vez que se abandone o mesmo em um deles, lá permanecerá.

Uma reação química, por exemplo, alcança seu estado de equilíbrio estável, que depende apenas de sua condição inicial. Pegue um copo de água quente e coloque uma colher de açúcar. Depois de agitar a mistura, o sistema alcançará seu estado de equilíbrio estável. Como já visto, este é um sistema

fechado, no qual a entropia tende a crescer até que o sistema alcance seu estado de equilíbrio estável.

aa. Sistemas Adaptativos

Outro exemplo de sistema a alcançar um estado de equilíbrio estável é quando você vai a um cinema a tarde. Dentro do cinema, pelo fato do nível de iluminação ser baixo, suas pupilas se abrem para permitir a entrada uma quantidade de luz maior. Ao sair do cinema, no entanto, com o nível de iluminação bem maior, a quantidade de luz penetrando em seus olhos permitida pelas pupilas escancaradas produzem incômodo, o que faz com que você feche os olhos. Aos poucos, o sistema cibernético que controla a abertura das pupilas vai atuando, fechando-as, até que a abertura das mesmas fica adequada para o nível de iluminação em questão, o que faz passar o incômodo.

Antes de você entrar no cinema, a abertura de suas pupilas era adequada à quantidade de iluminação da rua, ou seja, o estado de equilíbrio estável se referia à quantidade de iluminação da rua. Diz-se que se está acostumado com a luz da rua.

Ao entrar no cinema, você perturbou o sistema (diminuiu a quantidade de iluminação), o que fez com que o estado do sistema dinâmico transitasse para outro estado estado de equilíbrio estável para as condições ambientais atualizadas. Diz, então que você já se acostumou com esse novo nível de iluminação. A isso se chama **adaptação**. O sistema cibernético que controla a abertura das pupilas é, também, um **sistema adaptativo**.

O corpo humano, assim como o de outros animais, contém um sem número de sistemas adaptativos. É essa capacidade de adaptação que permite a sobrevivência da espécie. Quando você está caminhando, seu batimento cardíaco é um. Mas, se

resolver correr, esse batimento aumenta na proporção da necessidade do organismo. Logo, é um sistema adaptativo.

Uma vez amigo comandante de aeronave me falou que um avião é uma bomba. Isso pelo fato de a pressão na cabine ser maior do que fora do avião, quando em vôo, claro. Essa necessidade decorre do requisito de conforto dos passageiros. Ainda assim, essa pressão no interior da cabine é menor do que a pressão no nível do mar, à qual os passageiros estão adaptados antes da decolagem. Essa pressão menor provoca desconforto passageiro aos ocupantes do avião, ou seja, até que o sistema cibernético encarregado dessa regulação consiga adaptar o organismo às novas condições ambientais. Uma vez adaptado, o organismo passará pelo processo inverso a quando do pouso do avião.

Veja que o sistema dinâmico (organismo) teve duas transições de estado. Sendo que os dois estados de equilíbrio são estáveis para as condições ambientais respectivas. O mesmo acontece quando se viaja para locais distantes e tem-se que adaptar-se a fusos horários diferentes. Nosso relógio biológico precisa passar por essa adaptação.

bb. Região de Estabilidade

Ao invés de considerar-se apenas um **único estado de equilíbrio estável**, é comum considerar-se também **uma região de equilíbrio estável**. Isso permite incluir-se um conjunto de estados no qual o sistema pode estar sofrendo transição entre esses estados, mas ainda assim seu comportamento geral pode ser considerado aceitável. Esse conjunto de estado é chamado de **região de estabilidade**.

Nessa região de estabilidade, o relevante é considerar estados por onde o sistema dinâmico está transitando, mas que sejam aceitáveis sob luz de algum critério. Por exemplo, quando se ouve um boletim meteorológico, é comum ouvir-se frases do

tipo **tempo estável**. As condições do tempo caracterizam um sistema dinâmico estocástico (probabilístico) e um estado desse sistema em uma determinada região é, como a definição aqui vista, determinado por conjunto mínimo de variáveis (temperatura, direção do vento, velocidade do vento, etc.) em um instante de tempo. Ao falar-se estado de tempo estável, quer-se referir a uma região, cujos estados pelos quais o sistema tempo transita, é de estabilidade (aceitável como tal, isto é, com poucas nuvens, sem precipitação - chuva, etc.).

A meteorologia é uma área do conhecimento científico importante, pois é capaz de prever condições de tempo adversa para que providências sejam tomadas, antes que catástrofes ocorram, como o foi no caso do Ciclone Catarina que atingiu o sul do Brasil, no início de 2004. Nestes casos, um único estado de equilíbrio estável nem é possível prever-se, mas tão somente uma região contendo estados de condições de tempo que não comprometam a área geográfica em questão.

A área de Sistemas de Controle trata projetar, desenvolver e implementar controladores para que os sistemas a serem controlados possam exibir estados que fiquem aprisionados em regiões de estabilidade, mesmo que essas regiões sejam alcançadas pelos estados dos sistema de forma assintótica, isto é, caminhando sempre naquela direção.

Vimos que em um sistema fechado, a entropia tende a crescer, fazendo com que o sistema alcance um estado final de equilíbrio estável, algumas vezes denominado de colapso do sistema. Em sistemas abertos, quando há possibilidade de troca de massa, de energia e de informação com o ambiente, é possível evitar o crescimento de sua entropia. Por ser aberto, pode-se suprir o sistema com energia capaz de realização de trabalho, impedindo o crescimento de sua entropia.

Pegue uma empresa como a Coca-Cola, por exemplo. Parte não desprezível de seu faturamento é utilizada em

propaganda, o que a faz, dentre outras coisas a manter-se no topo de sua categoria e uma das maiores empresas do mundo. Qualquer empresa que seja fechada (neste caso, a que não faz propaganda), ao contrário dessa, tende a entrar em colapso. Claro que a propaganda pode ainda ser feita de boca-em-boca, sem que haja uma estrutura planejada de divulgação, como aconteceu com uma antiga loja de alcance nacional no Brasil, a Lobrás - Lojas Brasileiras S/A. Sua divulgação era feita apenas pelos clientes, de forma espontânea. Mas, para variar, foi a pique.

Um livro é um sistema de informa fechado, isto é, na medida em que foi impresso não mais é possível acrescentar-se ou retirar-se informação do mesmo. Permanecerá em seu estado de equilíbrio estável pelo resto dos tempos de sua existência. na verdade sua entropia já está no nível máximo.

Mas um sistema de informação online, ao contrário do livro, é um sistema aberto, e pode ser atualizado sempre. Portanto, é possível impedir o crescimento de sua entropia. Por outro lado, se a fonte de atualização deixar de atuar, sua entropia volta a crescer e sua atualização fica prejudicada.

Não se quer dizer com isso que o livro não tenha valor, claro. O livro é uma das principais jóias a disposição do ser humano. E, ao contrário de um diamante que foi construído pela natureza, o livro é uma jóia que foi construída pelo próprio ser humano, dentre vários outros artefatos também criados por ele.

Um pintura, seja de Da Vinci, Picasso ou Rafael, representa outra jóia extraordinária. Também são exemplos de sistemas fechados, pois nada mais pode ser acrescentado ou retirado, sem perder sua esplendorosa beleza. E quem falou que os sistemas fechados não tem valor?

cc. Um Toque sobre Sobrevivência

Houve no Brasil, na segunda metade do século XX, a implantação de vários planos econômicos, cada um pior do que o outro, causando imensos transtornos à população brasileira e ao seu sistema produtivo. Alguns "iluminados" economistas e governantes fazendo de tudo para garantir votos, elaboraram aventuras econômicas catastróficas. E o povo brasileiro teve que adaptar-se "na marra" às condições decorrentes de cada novo plano. Não havia outro jeito. Somos, não apenas nós, brasileiros, mas seres humanos, antes de tudo, seres adaptativos.

Nem há como sobreviver sem essa capacidade de adaptação. Veja a situação no oriente médio e dos povos árabes. O único pecado deles é estarem sobre o chamado ouro negro (petróleo), cobiçado pelas grandes potências, seus maiores consumidores. Então, a estratégia é velha: **divide and conquer** (expressão em inglês que significa, dividir para conquistar; não há interesse em promover a paz na região: deixar-se-ia de dividir e não poder-se-ia conquistá-la). E adivinhe quem **paga o pato**? E, assim, essas populações "fazem das tripas coração" para sobreviverem.

Um outro exemplo é a educação de nossos filhos. Por serem **sistemas adaptativos**, é necessário, além de carinho e afeto, impor-se regras, restrições, uma vez que estão formando sua personalidade e precisam conhecer limites. Isso é importante porque o mundo não comporta egocentrismo de toda sua população. Para conviver com outras pessoas, isto é, para viver-se em uma sociedade, há que se ter um contrato social: cada sociedade tem suas regras, seus limites, sua cultura, etc. Quando você migra de uma sociedade para outra é necessário adaptar-se a essas novas (para quem está chegando) regras. Se aprendemos, ainda na infância e adolescência, a termos essa capacidade de adaptação, certamente, não teremos problemas em vivermos em sociedade. Podemos até ter mais dificuldade

de adaptação em umas do que em outras. Mas nada que não possa ser resolvido.

A sobrevivência, em toda a amplitude de sua semântica, exige capacidade de adaptação a mudanças ambientais. Quando um sistema está adequadamente adaptado a seu ambiente e, por alguma razão, esse ambiente muda suas características, o sistema, para continuar sobrevivendo no mesmo, terá que adaptar-se às novas "regras". Isso acontece com organismos, com empresas, ou com qualquer outro tipo de sistema. Organismos, claro, tem sua sobrevivência observada tanto na espécie quanto no espécime, cuja capacidade de reprodução é uma condição necessária para a sobrevivência da espécie.

dd. Processo: Seqüência de Estados

A Fig. 4-2 ilustra uma seqüência de estados alcançados por um sistema espacial (o lançamento de um satélite artificial ou algo do tipo). A essa seqüência de estados trilhados pelo sistema dá-se o nome de **processo**. Note que a transição de estados em um processo pode ser feita de forma contínua (como é o caso ilustrado na Fig.4-2) ou discreta.

Há processos que só ocorrem uma única vez. São os chamados **processos históricos**, e são **irreversíveis**. Um exemplo é a vida de um mamífero. Seu início acontece na fecundação do óvulo da fêmea pela espermatozóide do macho. Em geral fica condicionado no ovário da fêmea até seu nascimento, quando toda a energia, massa e informação de que necessita, são fornecidos pelo organismo da mãe. A partir do nascimento toda a provisão de que precisa para seu crescimento e sustento precisa ser retirada do ambiente externo ao organismo no qual foi gerado. Este processo só encerra a quando da morte do mesmo.

Há processos que são repetitivos, isto é, ocorrem de forma cíclica. São os chamados **processos periódicos**. Um exemplo

é um indicador de direção de veículos automotores, o famoso "pisca-pisca". Há, nesse sistema, apenas dois estados possíveis: o estado "luz apagada" e o estado "luz acesa". No momento em que o sistema é acionado, indicando uma direção para qual o motorista pretende seguir, o processo é iniciado, fazendo com que a lampada da direção escolhida (direita ou esquerda) fique acendendo e apagando. Esse processo só é encerrado quando o motorista desliga o indicador de direção.

Há processos com características de aleatoriedade. São os conhecidos **processos estocásticos**, ou processos estatísticos. São processos que quase nunca se repetem, ou melhor, a probabilidade uma realização do processo se repetir quase nula. Ou nula. Você, por exemplo, quando caminha, quase nunca consegue pisar em suas pegadas anteriores. Mas, se ao fazer o mesmo trajeto uma quantidade suficiente de vezes, é possível extrair informações sobre a forma como você realiza o trajeto.

Há uma corrente de paisagistas que, ao projetarem um jardim de uma praça pública, deixam para depois a escolha do passeio, no qual deve ser feita a passarela para que as pessoas por ela caminhem, para a preservação da grama. Deixam as pessoas caminharem por cima da grama por um certo tempo até que se possa ter uma idéia mais adequada do caminho preferencial médio. Neste ponto, o paisagista está pronto para concluir o projeto da passarela. Em geral, quando esse procedimento é utilizado, o caminho das pessoas pela praça raramente violenta a solicitação **favor não pisar na grama**.

5 Modelos de Sistemas

Aqui será visto o conceito de modelo aplicado a sistemas, também de forma didática e, sempre que possível, ilustrado com exemplos de aplicação.

ee. O que é um Modelo

Desde os tempos de Platão que se sabe que não há nenhuma possibilidade de apreender-se o mundo em toda a sua complexidade. Nossa cabeça é, literalmente, pequena para que isso seja possível. A riqueza de detalhes do mundo, aliada a nossa limitação na aquisição dos dados e na representação mental do mundo exterior a nós, torna essa tarefa impossível. Além disso, precisamos de uma representação mental de mundo apenas para garantirmos nossa sobrevivência. Por essas razões o mundo é visto por nós visto via modelos, ou seja, através de uma representação mental da realidade de mundo que é, pelo acima exposto, reduzida. Por isso que modelo é, algumas vezes, chamado de caricatura. Daí serem, os modelos, representações fragmentadas e empobrecidas da realidade face à sua riqueza de detalhes.

O Método Científico trabalha com modelos. Justamente por ser uma atividade eminentemente humana. Nem poderia ser diferente. O Método Científico cria modelos de fenômenos, os verifica e, quando necessário, os modifica. Esse processo termina quando os pesquisadores se satisfazem com os modelos desenvolvidos, representando fenômenos para os quais foram criados. E, se por alguma razão, tal modelo não

consegue dar conta de representar a realidade, novos modelos são criados, verificados e modificados. É assim que se constroi o conhecimento científico.

Até nas coisas mais banais de nosso dia-a-dia trabalhamos com modelos. Seja quando olhamos para uma pessoa e não sabemos detalhes de suas vestes (por exemplo, como iríamos saber se há alguma imperfeição na costura de sua camisa); seja quando olhamos uma paisagem e não conseguimos saber se alguma planta nessa paisagem teve uma folha arrancada para alimentar algum pássaro; ou mesmo quando um amigo está próximo e não conseguimos saber o que está pensando. A complexidade é tamanha que não há como representá-la em toda a sua plenitude em nossa mente. Isso nos leva a fazê-la apenas parcialmente.

Mas, ao contrário do que se pode imaginar, isso não é ruim. Primeiro porque nossa capacidade de representar o mundo foi desenvolvida para que pudéssemos garantir nossa sobrevivência. Em segundo lugar pelo fato da complexidade do mundo não ser propriamente de interesse na solução de problemas específicos, para os quais temos que encontrar solução, quase que diariamente. Se você está interessado em regar plantas, e dispõe de uma caixa d'água, você só precisa saber se há água suficiente para seu trabalho. Em geral, você não tem interesse em medir sua salinidade, seu pH, sua temperatura, etc. A complexidade do mundo inclui tudo isso, mas nesse momento não há interesse em conhecer-se toda essa complexidade para a solução do problema em questão. Ficamos, neste texto, com a seguinte definição de modelo (STOCKBURGER, 2004):

Um modelo é uma representação da estrutura essencial de algum objeto, fenômeno ou evento, no mundo real.

Por **estrutura essencial**, entende-se o que é relevante para a solução do problema que se tem em mãos. É comum em

Cinemática (Física do ensino médio) considerar-se uma bala da canhão, por exemplo, como um objeto puntual, ou seja, como se fosse apenas um ponto. De toda a complexidade da bala de canhão, portanto, fica-se apenas com um ponto representativo de seu centro de massa, Fig 5-1. É a estrutura essencial para a solução do problema.

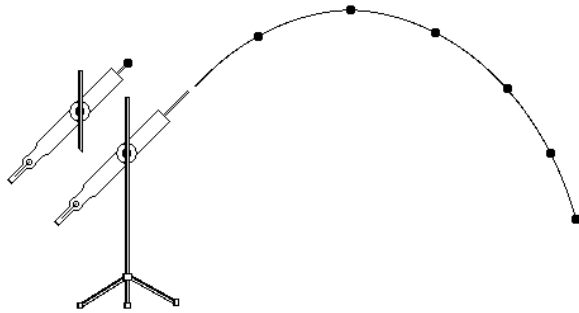


Figura 5-1: Trajeto de bala de canhão, modelado como objeto puntual.

Fonte:

http://hendrix.uoregon.edu/~demo/Demo/Mechanics/Kinematics/Pictures/Projectile_Gun.gif,
01 jun 2004.

O método científico tende a simplificar e/ou explicar a complexidade do mundo, através de modelos. A lei da Gravitação Universal de Newton, por exemplo, é considerado um marco na ciência moderna, por inaugurar o método científico, como é aceito até nossos dias. Os cientistas usam esses modelos para prever a ocorrência de eventos e estudar comportamentos de sistemas. Com esses modelos é possível, também, controlar certos sistemas, quando passíveis de o sê-lo. Mesmo não cientistas o fazem, também: administradores, médicos, jogadores, etc.

ff. Características de modelos

Stockburger (2004) também nos lembra que se deve ter em mente as principais características de um modelo quando com ele se trabalha, o que será visto a seguir.

Modelos são necessariamente incompletos

Lembre-se que se está trabalhando, não com o sistema em sí, mas tão somente com uma sua representação, em que são considerados apenas alguns aspectos relevantes que formam, segundo nossa compreensão, sua estrutura essencial. Deixa-se de lado todos os demais aspectos que não fazem parte da necessidade mais imediata para o problema em questão. Isso se deve a algumas suposições que devem ser feitas sobre tal estrutura essencial e as relações entre objetos, fenômenos ou eventos significativos e necessários para a explicação do fenômeno que está sendo estudado (STOCKBURGER, 2004).

Note que esta característica é importante para que se possa reduzir o espaço de busca na solução de um problema. Por exemplo, se estou trabalhando em um novo tipo de suspensão para um determinado automóvel de passeio, a cor com que esse veículo está pintado não faz parte da estrutura essencial para meu modelo de suspensão. Nem, também, se o vidro traseiro possui ou não desembaçador elétrico. Mas, peso, distância entre rodas, etc., certamente, são relevantes.

O modelo pode ser modificado ou manipulado com relativa facilidade

Imagine se você fosse contratado para construir um avião. Mesmo sendo um supra-sumo na área de projetos de aeronaves, seria interessante que você contasse com um modelo do mesmo para que pudesse fazer todas as simulações possíveis, antes de o colocar no ar? Agora, se ao invés de modelo, você partisse imediatamente para a construção do avião e o colocasse no ar. Qualquer deslize em seu projeto poderia colocar em risco a vida dos ocupantes da aeronave.

Evidentemente que o modelo é fundamental para que o projeto seja desenvolvido sem causar danos a pessoas além, claro, de não provocar prejuízos financeiros decorrentes de quedas inesperadas do equipamento. Com modelos, as

modificações não apenas são possíveis, mas podem ser feitas tantas vezes quantas forem necessárias. O modelo deve conter essa facilidade.

gg. Como são extraídos os modelos

Em geral, a confecção de modelos segue um determinado padrão, de onde pequenas variações podem ser feitas, sem que o principal seja comprometido, isto é, suas características sejam preservadas. É importante não perder de vista o problema em si, o que se está procurando. E modelagem se aprende com a vivência, com a experiência.

Em primeiro lugar temos o problema propriamente dito. Pode ser na forma de evento, de fenômeno, ou de qualquer outra a vir a se apresentar. Em geral, este problema está alocado no mundo real, isto é, sendo contemplado com toda a complexidade que contiver. Como visto, não podemos considerar essa complexidade em toda a sua plenitude. Há que se reduzi-la, pois de outra forma não haveria jeito de ser considerado. Modelagem tem quatro etapas:

Observação

Por um lado, temos o mundo real, onde o problema se encontra. Podemos sensorial-lo em toda a extensão possível e com os recursos que dispusermos. Sejam eles os nossos recursos naturais, como visão, olfato, audição e demais sentidos. Sejam esses recursos artificiais, desenvolvidos para fins específicos, como binóculos, telescópios, contadores geiger, microscópios, termômetros, voltímetros, velocímetros, oxímetros, ou qualquer outro dispositivo sensorial. Essa primeira etapa da modelagem é conhecida como **observação**.

Interpretação

Uma vez que conseguimos sensoriar o objeto, fenômeno ou evento, através de sensores naturais ou artificiais, é chegada a

hora de construirmos uma imagem mental sobre o mesmo. Note que isso é feito de forma quase automática por nossa mente. Quanto mais experiência adquirimos sobre o problema, melhor e mais rapidamente essa imagem mental é construída. Essa imagem mental é chamada de **construto**. O construto nada mais é do que uma versão do modelo do objeto, fenômeno ou evento que estamos observando. Essa é a etapa da **interpretação**. A Fig. 5-2 ilustra as quatro etapas do processo de modelagem.

Transformação

De posse da versão do modelo, podemos transformá-lo (melhorando-o, baseado em algum critério de melhoria) para que o tornemos mais prático. É a etapa da **transformação**, que nos ajuda a simplificar o modelo, na busca de maior praticidade.

Verificação

Feito isso, podemos usar esse modelo para obter resultados nele baseados, os quais podem ser comparados com os resultados observados diretamente no mundo real. Se os resultados obtidos com o modelo e os observados no mundo real forem compatíveis (iguais quase nunca o serão), é um indicativo que nosso modelo é razoável. Porém, se divergirem muito, é sinal que nosso modelo ainda não atende a expectativa nele depositada. É a etapa de **verificação**.

Note que esse processo representa um ciclo, que pode ser repetidos quantas vezes forem necessárias. Dificilmente ter-se-á um modelo já a partir da execução do primeiro ciclo. Portanto, o ciclo representado pelas etapas de modelagem, são: **Observação, Interpretação, Transformação e Verificação**.

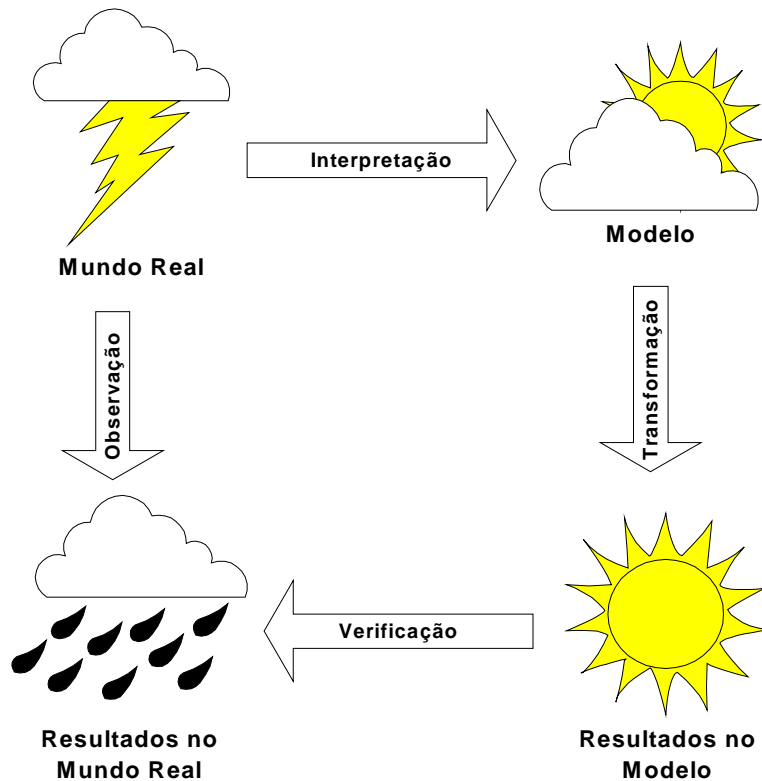


Figura 5-2: Etapas de modelagem de um sistema.

hh. Primeira etapa da modelagem: observação

A primeira etapa de modelagem é conhecida como observação, de onde podemos extrair o maior número possível de detalhes, Fig. 5-3. Desses, alguns são descartados por não fazerem parte (segundo nosso julgamento subjetivo) da estrutura essencial do problema e outros são considerados. Dos detalhes considerados para a modelagem é preciso que

sejam anotados com o maior número possível de informações sobre os mesmos. Tais anotações devem ser feitas em uma linguagem formal, ou seja, que não dê margem a mais de uma interpretação.

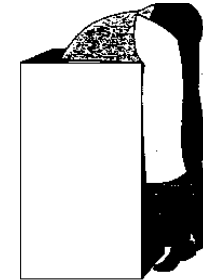


Figura 5-3: Etapa de observação.

Fonte: <http://www.ergonext.com/aa-clipart/bending-over.gif>, 02 jun 2004.

ii. Segunda etapa da modelagem: interpretação

Passada a primeira etapa de modelagem, que é a observação, onde deve-se extrair o maior número possível de detalhes e, após descartar todos que considerarmos irrelevantes, ou seja, detalhes que, segundo nosso julgamento, não fazem parte da estrutura essencial do problema, é parte-se para a segunda etapa, que é a interpretação. Na etapa de interpretação devemos usar todo o nosso arsenal de conhecimento que, também segundo nosso julgamento, tenha relação com o problema a resolver. As construções mentais vão surgindo, e vão competindo entre si, até que uma delas ganhe a relevância suficiente para que nosso julgamento "bata o martelo", dizendo é essa. Pronto: acabamos de tomar a decisão. A partir daí, agimos já com o nosso construto acabado, Fig. 5-4.



Figura 5-4: Etapa de interpretação.

Fonte: <http://www.free-graphics.com/clipart/Cartoon/Children/thumbnails2.shtml>, 02 jun 2004.



Figura 5-6: Etapa de verificação.

Fonte: <http://www.free-graphics.com/clipart/Cartoon/Education/thumbnails2.shtml>, 02 jun 2004.

jj. Terceira etapa da modelagem: transformação



Figura 5-5: Etapa de transformação.

Fonte: <http://www.free-graphics.com/clipart/Cartoon/Education/thumbnails1.shtml>, 02 jun 2004.

Na etapa de transformação os ajustes necessários são efetuados, sem perder as características da estrutura essencial, as quais são de fundamental importância para o modelo, Fig. 5-5. A linguagem formal para representar modelo permite transformação sem essa perda. Um exemplo de transformação é: $2a + ab = a(2 + b)$.

kk. Quarta etapa da modelagem: verificação

A última etapa da modelagem é a de verificação. É onde os resultados obtidos com o modelo devem ser testados com os resultados do mundo real, Fig. 5-6. É nessa etapa que podemos verificar se nosso modelo realmente consegue "tirar leite de pedra".

Caso a verificação comprove a utilidade do modelo, o trabalho pode ser dado por encerrado. Caso contrário, o processo deve ser repetido até que se chegue em um modelo com as qualidades desejadas.

II. Representação de modelos

A representação do modelo, que evidencia a estrutura essencial do objeto, fenômeno ou evento, é necessária para que você transporte-o "de sua cabeça para o papel". Em outras palavras, você precisa representar a construção mental (construto) feita na etapa de interpretação, para que você continue o ciclo da modelagem. E isso é feito utilizando-se uma linguagem. A linguagem natural, isto é, a que usamos em nosso dia-a-dia, não é adequada para esse fim, pois pode permitir mais de uma interpretação para uma mesma sintaxe. Por exemplo, se eu falo "eu vi Maria na praia com um binóculo", você pode interpretar essa frase de mais de uma maneira. Uma seria que eu observei Maria na praia através de um binóculo. Outra poderia ser que a Maria estava carregando um binóculo a tiracolo. Outras interpretações ainda são possíveis. Se usamos uma linguagem para representar nosso modelo não estaremos transportando a única construção mental que temos em mente. Portanto, linguagem natural não atende esse quesito.

Só nos resta, então, usar linguagem formal, ou seja, a que só permite uma única interpretação. E há várias dessas linguagens, para várias finalidades. Qualquer linguagem de programação de computador é um exemplo de linguagem formal. Mas há outros tipos de linguagem formal. É possível reuní-las em dois grandes grupos (STOCKBURGER, 2004):

- **Linguagem Física**
- **Linguagem Simbólica**

Cada um desses grupos de linguagem formal tem finalidades específicas, as quais serão detalhadas a seguir.

Linguagem Física

A linguagem formal física é essencial para estudar-se algumas propriedades físicas do modelo, como as relações entre os componentes do sistema, suas dimensões relativas, e outras. Design, Desenho Industrial, etc., a utilizam com frequência. Por exemplo, quando se concebe um novo tipo de tampinha de bebida engarrafada, há que se ter uma representação física para estudar-se sua funcionalidade, as relações entre a tampinha e a boca da garrafa, e suas dimensões relativas, Fig. 5-7. A Arquitetura é outra área do conhecimento que a utiliza, para a construção de maquetes quando concebe um projeto arquitetônico. Essas representações físicas podem ainda ser vistas em aeromodelismo, e outras áreas.



Figura 5-7: Representação física de modelo.

Fonte: http://www.free-graphics.com/clipart/Food_And_Drink/Drinks/thumbnails2.shtml, 01 jun 2004.

Linguagem Simbólica

A linguagem simbólica é uma representação abstrata do modelo. Se escrevo a equação matemática $E = m.c^2$, você faz a associação com a Teoria da Relatividade de Einstein, Fig. 5-8.



Figura 5-8: Einstein: $E = m.c^2$.

Fonte: <http://www.smallbizguru.com/images/clipart/einstein.gif>, 02 jun 2004.

Equações matemáticas, como ilustrado na Fig. 5-9, podem ser representações simbólicas de modelos de objetos, fenômenos e eventos do mundo real. Representam um bom exemplo de linguagem formal. Mais exemplos são linguagens de programação, mapas conceituais, linguagens de sinalização, etc. O uso de linguagem simbólica é de interesse, por exemplo, quando o comportamento do sistema deve ser simulado. A língua portuguesa é uma linguagem natural, enquanto a álgebra é uma linguagem formal. Diagrama de Estado, Fluxograma, UML, DFD, são exemplos de linguagens formais.

$$k = \lambda / 2\pi$$

$$\alpha_{hh} = \frac{\epsilon - 1}{(\cos \theta + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta})^2}$$

$$\alpha_{vv} = \frac{(\epsilon - 1)(\epsilon + \epsilon \sin^2 \theta - \sin^2 \theta)}{(\epsilon \cos \theta + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta})^2}$$

Figura 5-9: Conjunto típico de equações matemáticas.

Fonte: <http://history.nasa.gov/JPL-93-24/eq5p54.jpg>, 01 jun 2004.

mm. Exemplos de Modelos de Sistemas

Estude e proponha modelos para os seguintes exemplos de sistemas:

- **Sala de aula**
- **Caderno de anotações escolares**
- **Movimento relativo Terra-Lua-Sol**
- **Percurso de uma linha de onibus urbano**
- **Carreira profissional de Bacharel em SI**
- **Sistema de informação acadêmica**
- **Sistema de informação de evasão escolar**

Referências

- ALVES, J. B. M. Controle de Robô. Campinas, SP, Cartgraf, 1988.
- ATLAN, H. [**Viver e Conhecer**]. Disponível em: <<http://www.ppgcsa.com.br/leitura13.htm>>. Acesso em 12 mar 2004. Tradução por Maurício Roberto Campelo de Macedo e Isa Maria Hetzel de Macedo.
- BASSALO, J. M. F. [**Astronomia na Idade Antiga**]. Disponível em: <<http://www.str.com.br/Scientia/astronomia.htm>>. Acesso em: 13 mar 2004.
- BERTALANFFY, L. von - **General Theory of Systems**. N. York, George Braziller, 1969. BOFF, L. **Palestra sobre Ecologia**. Fita de videocassete. Joinville, Assembléia Legislativa de Santa Catarina, 2001.
- CALDWELL, C. K. [**Graph Theory Tutorials**]. Disponível em: <<http://www.utm.edu/departments/math/graph/>>, Acesso: 19 mai 2004.
- CHAUÍ, M. **Alegoria da Caverna (contada por Marilena Chauí)**. Disponível em: <<http://www.geocities.com/philosophiaonline/1024x768/trechos/alegoriamc.htm>>. Acesso em 10 mar 2004.
- CHAUÍ, M. S. **Convite à filosofia**. 8. ed. São Paulo: Atica, 1997.
- CEFET Química. [**Conhecendo o DNA**] Disponível em: <<http://www.cefeteq.br/dna/dnaint.htm>>. Acesso em: 18 mar 2004.
- CHERMAN, A. [**Equações de Maxwell**]. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/planetario/arquivos/cherman5.htm>>. Acesso: 21 mar 2004.
- CORBETT NETO, T. [**Mudanças de Paradigma**]: Disponível em: <<http://www.corbett.pro.br/mudapara.htm>>. Acesso em: 20 mar 2004.
- DAMASIO, A. R. **Como o Cérebro Cria a Mente**. Scientific American. Edição Brasileira Especial nº. 4: Segredos da Mente. Pp. 6-11. 2004.
- DAMASIO, A. R. **Ao Encontro de Espinosa**. Portugal, Publicações Europa-América, 2003.
- DAMASIO, A. R. **O Erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. São Paulo: Companhia das letras, 1996
- DAMASIO, A. R. **O Mistério da Consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si**. São Paulo, SP: Cia das Letras, 2000.
- DARWIN, C. **A origem das especies**. São Paulo: Hemus, 1981.
- DESCARTES, R. **Discurso do método**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília; São Paulo: Atica, 1989.

- DORNELES, C. **Deus É Inocente**: a imprensa não. S. Paulo, Editora Globo, 2002.
- DYSON, F. **O Sol, o Genoma e a Internet**. S. Paulo, Companhia das Letras, 2001.
- EMBRAPA, [**GenePlus**: Programa Embrapa de Melhoramento de Gado de Corte]. Disponível em: <<http://www.cnpgc.embrapa.br/~locs/geneplus/inicio.htm>>, Acesso: 05 abr 2004.
- FERNANDES, B. **A Hora da Autópsia**. Revista Carta Capital, 24 de março de 2004, pp. 35-51
- FIERRO, J.; VALENZUELA, A. S. [**Conteos estelares y estimaciones matemáticas**]. Disponível em: <<http://www.correodelmaestro.com/antiores/2003/marzo/1nosotros82.htm>>, Acesso: 01 mai 2004.
- FSU. [**Secret Worlds: The Universe Within**]. Disponível em: <<http://www.micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10/index.html>>, Acesso: 29 abr, 2004.
- GAVRAS, C. **Missing** - Desaparecidos. Filme. 19..
- GOULD, S. J. **Vida Maravilhosa**: o acaso na evolução e a natureza da história. S. Paulo, Companhia das Letras, 1990.
- HASHIMOTO, M. **Russell Vietnam War Crimes Tribunal**: Hashimoto on Napalm Bomb. Disponível em: <<http://www.911review.org/Wget/www.homeusers.prestel.co.uk/littleton/v1202has.htm>>. Acesso: 24 mar 2004.
- HOFFMAN, D. D. **Inteligência Visual**: como criamos o que vemos. Rio de Janeiro, Editora Campus, 2000.
- HOFFMAN, D. D. [**Página pessoal**]. Disponível em: <<http://aris.ss.uci.edu/cogsci/personnel/hoffman/hoffman.html>>. Acesso em 10 mar 2004.
- HONG, N. et Al. [**Systems Theory**]. Disponível em: <<http://www.ed.psu.edu/insys/ESD/systems/theory/SYSTHEO2.htm>>, 06 mai 2004.
- HORTA, A. M. **Soneca no Trabalho**: Entrevista com Ricardo Semler. Revista Época, Edição 305, Mar 2004. Disponível em: <http://revistaepoca.globo.com/Epoca/0,6993,EPT699954-1666,00.html>, 28 abr 2004.
- HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, Editora Objetiva, 2001.
- KUHN, T. S. **Estrutura das Revoluções Científicas**. S. Paulo, Editora Perspectiva, 1982.
- LAGE, N. **Ideologia e Técnica da Notícia**. Florianópolis, Editora Insular/Editora da UFSC, 2001.
- MORETZSOHN, S. [**BOCC**: Biblioteca On-Line de Ciências da Comunicação]. Disponível em: <http://bocc.ubi.pt/pag/_texto.php3?html2=moretzsohn-sylvia-profissionalismo-jornalismo.html>. Acesso: 24 mar 2004.
- NASA. [**Mars Project**]. Disponível em: <<http://www.arctic-mars.org/about/devon.html>>. Acesso: 30 abr 2004.
- NEWTON, I. **Principia**: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. S. Paulo, Nova Stella: Editora da Universidade de São Paulo, 1990.
- PLATÃO. **Alegoria da Caverna**. ISBN: 9728605110. Editora Esquilo, 2002.
- REDONDI, Pietro. **Galileu Herético**. São Paulo: Companhia das Letras, 1991.
- ROLLAG, K. [**Open System Theory**]. Disponível em: <http://faculty.babson.edu/krollag/org_site/encyclp/open_system.html>, 06 mai 2004.
- RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1987.
- SCHOMBERT, J. [**Astronomy 123: Galaxies and the Expanding Universe**]. Disponível em: <<http://zebu.uoregon.edu/~js/ast123/>>. Acesso: 27 mar 2004.
- SEMLER, R. **Virando a Própria Mesa**. S. Paulo, Rocco, 2002.
- SILVA, F. C. [**Fernando Capela e Silva**]. Disponível em: <<http://evunix.uevora.pt/~fcs/FernandoCapelaSilva.htm>>. Acesso: 06 mai 2004.
- SKYTTNER, L. **General System Theory**: An Introduction. London, MacMillan Press, 1996.
- SOUZA, M. **Turma da Mônica - Quadrinhos - As Sombras da Vida**. Disponível em: <<http://www.monica.com.br/comics/piteco/welcome.htm>>. Acesso: 10 mar 2004.
- STOCKBURGER, D. W. [Models]. Disponível em: <<http://www.psychstat.smsu.edu/introbook/sbk04m.htm>>. Acesso: 01 jun 2004.
- TREIBER, M. [**Phantom Traffic Jams**]. Disponível em: <http://vwisb7.vkw.tu-dresden.de/~treiber/MicroApplet1_0/IDM.html>. Acesso em 12 mar 2004.
- WWI-UMA (Worldwatch Institute / Universidade Livre da Mata Atlântica). [**Biodiversidad em América Latina - Diga cupuaçu em japonês, por WWI-UMA**]. Disponível em: <<http://www.biodiversidadla.org/article/articleview/3128/1/15>>. Acesso: 25 mar 2004.