

Rogério Parentoni Martins
Hugo Mari

EDITORES



Universos do Conhecimento

Faculdade de Letras da UFMG

Belo Horizonte

2002

121
457
217 21

UNIVERSOS DO CONHECIMENTO

ROGÉRIO PARENTONI MARTINS
HUGO MARI
(Editores)

PATROCÍNIO

Instituto de Ciências Biológicas da UFMG

Sociedade de Biologia de Minas Gerais

2002-19

U.F.M.G. - BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA



17600303

NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA

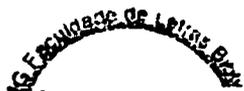
Faculdade de Letras da UFMG
Belo Horizonte
2002

0339-37560

Direitos Autorais Reservados – Lei 9610/98
Copyright ©2002 – Faculdade de Letras da UFMG

Os capítulos assinados são de responsabilidade de seus autores,
não traduzindo, necessariamente, a opinião dos editores.

Os capítulos deste livro, no todo ou em partes, podem ser
reproduzidos para fins educacionais e de pesquisa, porém, é
vedada a sua comercialização, nos termos da Lei dos Direitos
Autorais, Lei 9610/98.



BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA

21 / 01 / 03

176003-03

Rogério Parentoni Martins
Projeto Científico

Polygonus Ltda.
www.polygonus.com
Projeto da Capa

Ficha catalográfica elaborada pelas Bibliotecárias da Biblioteca FALE/UFMG

U58 Universos do conhecimento / Rogério Parentoni Martins,
 Hugo Mari (editores). – Belo Horizonte : Faculdade de
 Letras da UFMG, 2002.
 246 p. : il.

ISBN: 85-87470-44-2

1. Teoria do conhecimento. I. Martins, Rogério
Parentoni. II. Mari, Hugo.

CDD : 121

PROJETO DE EDITORAÇÃO CIENTÍFICA

GRUPO DE ESTUDOS INTERDISCIPLINARES DA UFMG

www.grei.com.br

PATROCÍNIO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS DA UFMG

Av. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte-MG – 31270-901

www.icb.ufmg.br

SOCIEDADE DE BIOLOGIA DE MINAS GERAIS

Av. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte-MG – 31270-901

FACULDADE DE LETRAS DA UFMG

Av. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte-MG – 31270-901

www.lettras.ufmg.br

COLABORADORES

Alfredo Pereira Júnior.
UNESP-BOTUCATU

Armando Lopes de Oliveira
UFMG

Celson Diniz Pereira
UFMG

Francisco Ângelo Coutinho
FUNDAÇÃO EDUCACIONAL MONS. MESSIAS

Hugo Mari
UFMG

Isabela Aparecida de Oliveira Lussi
USC/BAURU

Maria Alice Pereira
USP/RIBEIRÃO PRETO

Rogério Parentoni Martins
UFMG

Romeu Cardoso Guimarães
UFMG

Wilhelm Walgenbach
IPN-UNIVERSIDADE DE KIEL

SOBRE OS COLABORADORES

ALFREDO PEREIRA JÚNIOR
Departamento de Educação do Instituto de Biociências
UNESP/BOTUCATU-SP
apj@ibb.unesp.br

ARMANDO LOPES DE OLIVEIRA
Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas
UFMG
ionsuper@dedalus.lcc.ufmg.br

CELSON DINIZ PEREIRA
Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas
UFMG

FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO
Faculdade Monsenhor Messias
fa-coutinho@uol.com.br

HUGO MARI
Departamento de Letras Vernáculas da Faculdade de Letras
UFMG
hugomari@letras.ufmg.br

ISABELA AP. DE OLIVEIRA LUSSI
Centro de Ciências Biológicas e Profissões da Saúde do
Curso de Terapia Ocupacional
USC/BAURU-SP
ilussi@uol.com.br

MARIA ALICE O. PEREIRA
Departamento de Enfermagem Psiquiátrica e
Ciências Humanas da Escola de Enfermagem
USP/RIBEIRÃO PRETO-SP
ornelas@glete.cerp.usp.br

ROGÉRIO PARENTONI MARTINS
Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas
UFMG
wasp@icb.ufmg.br

ROMEU CARDOSO GUIMARÃES
Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas
UFMG
romeu cg@icb.ufmg.br

WILHELM WÄLGENBACH
Ipn-Universidade de Kiel
walgenbach@ipn.unikiel.de

GRUPO DE ESTUDOS INTERDISCIPLINARES DA UFMG
www.grei.com.br

APRESENTAÇÃO

O *Grupo de Estudos Interdisciplinares da UFMG* apresenta essa edição aos interessados em temas científicos e filosóficos abrangentes. Longe de pretender esgotar as possibilidades de discussão, os autores tiveram a intenção de expor a estudantes e pesquisadores de diferentes formações acadêmicas, e até mesmo ao leigo interessado, alguns momentos da discussão e da construção do pensamento científico e filosófico.

Cada autor expõe temas associados às suas inquietações mais determinantes, sem estar voltado para tecnicidades locais, mas para interações globais. Esse procedimento resultou em textos que contêm, além de uma visão panorâmica sobre concepções científicas e filosóficas, certas reflexões originais, decorrentes, muitas vezes, da convivência interdisciplinar de três anos na UFMG. No corpo desses textos, o leitor disporá de informações e de estratégias que ajudarão na discussão de temas, na confrontação de idéias que emergem da necessidade de construção do conhecimento científico, nas mais diversas circunstâncias. Cada um dos temas é, por assim dizer, um universo de conhecimento, que contempla a si próprio, enquanto análise de um problema, mas que ultrapassa fronteiras imediatas, enquanto interface possível com outros campos do saber.

A riqueza de informações e a diversidade de procedimentos, contidas nos textos, possibilitam uma compreensão, cada vez maior, da complexidade a que nos vemos submetidos, enquanto construtores do conhecimento científico, cujo resultado mais imediato traduz-se pela impossibilidade de uma unificação do saber em uma metateoria. Além do mais, a possibilidade de que cada universo de conhecimento possa ser ao mesmo tempo uno e múltiplo, remete-nos à sua natureza dialética, se pudermos conceber que o uno e o múltiplo são necessariamente

complementares, como categorias úteis para o acesso a uma compreensão mais abrangente. Compreensão abrangente foi exatamente o motivo que reuniu, semanalmente, os autores, nesses últimos três anos.

Todavia, a despeito desse tempo relativamente longo, os textos dessa edição não constituem um trabalho interdisciplinar, em sentido restrito, já que refletem mais a contrapartida para uma interação inicial de alguns membros do Grupo, visando à construção de uma estrutura comum para o entendimento de diferentes linguagens e idiosincrasias conceituais. Essa preocupação de base evidencia as dificuldades práticas de se construir um trabalho interdisciplinar que supere um mero discurso de intenções. Assim, esse tempo foi essencialmente necessário para que aprendêssemos a nos conhecer, a respeitar pontos de vista conflitantes e atingirmos hoje um nível de discussão que nos parece mais produtivo e ajustado às possibilidades de um trabalho integrando diversas áreas do saber. Seja qual for a receptividade que essa edição venha a receber, restará para nós a satisfação de estarmos juntos na tarefa de aperfeiçoamento intelectual crítico. Oxalá, essa satisfação possa ser percebida e contamine àqueles cuja intenção também é a de ampliar os seus universos de conhecimento.

Os editores

CONHECIMENTO¹

Francisco Ângelo Coutinho
Fund. Educ. Mons. Messias

"Sem caos não há conhecimento"
(Feyerabend).

*"É preciso construir muros
inexpugnáveis nos próprios raciocínios"*
(Antístenes, fr. 63)

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata da natureza do conhecimento científico. Em uma cultura em que a Ciência ocupa um lugar privilegiado e com a sofisticação e o aumento da complexidade da atividade científica, faz-se necessário uma disciplina que procure compreender a natureza, o

¹ Para José Garcia Coutinho, Francisco Urquiza Campos, Aristides Teles e Hélio Teles, que me ensinaram o valor do conhecimento, da honra e da medida.

desenvolvimento e a estrutura da ciência. Tal disciplina, a Epistemologia ou Filosofia da Ciência, tem como tarefa principal responder à pergunta bem ampla “o que é o conhecimento científico?”. Essa pergunta interessa a todos que estão conscientes do *status* da Ciência dentro de nossa sociedade e que gostariam de entender como a Ciência é feita, o que a distingue de outras tradições de conhecimento e qual a garantia que temos da veracidade de suas leis e teorias. Porém, interessa ainda, de forma mais ostensiva, aos jovens estudantes que escolheram áreas que poderiam ser chamadas de Ciência. Interessa também àqueles pesquisadores que, em algum momento, desejam refletir a sua atividade. Ao filósofo, a questão diz respeito diretamente, pois a Epistemologia é campo definido da Filosofia. Aqui, então, será essa pergunta que nos conduzirá. Aviso, de início, que este texto não pretende ser um mapa de toda a Epistemologia do século XX, mas, simplesmente, um ponto de partida para os que desejam compreender esse fenômeno chamado Ciência.

De início, precisamos definir o que vem a ser “conhecimento”. No dicionário, entre as inúmeras acepções de conhecimento, encontramos as definições “ato ou efeito de conhecer; faculdade de conhecer; idéia, noção, informação ou notícia” (Michaelis, 1998). Assim entendido, “conhecimento” remete a dois sentidos básicos: o conhecimento enquanto produto e o conhecimento enquanto processo ou ato de conhecer. Enquanto produto, o conhecimento é o conjunto das informações que a humanidade adquiriu e que está disponível nas bibliotecas, acervos, filmes, museus, CDs, disquetes, internet, tradições orais etc. Embora tudo isso seja objeto de pesquisa e reflexão, a Epistemologia se interessa por um outro alcance do termo, qual seja, o conhecimento enquanto ato de conhecer. Em tal acepção, o conhecimento é uma relação que se estabelece entre um sujeito e um objeto.

Essa relação, à primeira vista, não parece colocar maiores problemas, pois, na vida cotidiana, as pessoas acreditam que, uma vez estabelecida essa relação, o conhecimento seria uma apreensão do objeto, tal como ele é, pelo sujeito que conhece. No entanto, já desde o início da Filosofia, no século VII a.C., os filósofos começaram a sentir que essa relação é problemática e requer investigação.

Quando, na Antiguidade Grega, um poeta criava mitos para explicar a origem das coisas e do mundo, não tinha mais do que mencionar a

inspiração para justificar seus conhecimentos. Indagado sobre as fontes de seu saber, mencionava as musas como inspiradoras ou remetia-se a um antepassado que havia presenciado os fatos. Podia, ainda, mencionar sua ida à morada dos deuses, onde, por ato benevolente das divindades, havia-lhe sido revelada a verdade. No entanto, no século VII a.C. um novo modo de explicar o mundo começou a se delinear nas Colônias da Grécia, mais propriamente na Jônia, na cidade de Mileto. Essa nova forma de interpretar o mundo, que ficou conhecida como Filosofia, rompe com a atitude dos poetas.

A tradição menciona como primeiro filósofo Tales de Mileto (640-545 a.C.) e como fundadora da filosofia a sua idéia de que "Tudo é água". Embora estranho imaginar que uma tal proposição tenha fundado a tradição filosófica, temos que analisá-la com cuidado. Em primeiro lugar, essa proposição ambiciona colocar toda a complexidade e diversidade do mundo sob um único conceito. Ou seja, vemos aqui o início da busca do rigor conceitual e da formulação precisa do conhecimento. Em segundo lugar, Tales não se satisfaz em dizer que foi levado a crer que o mundo se origina, se sustenta e se resolve na água por inspiração das musas. Ao perguntar-se por que as coisas são e pelo princípio da mudança, nos lembra Aristóteles, Tales é levado a admitir um princípio material, a água, e cuja escolha fundamenta-se na sua constatação de que o sêmen é líquido e de que o mar rodeia e cerca tudo. Assim, Tales justifica e dá razões de suas crenças.

Enquanto um poeta jamais se veria contestado por sua audiência, o que configuraria uma divergência de opinião sobre sua versão dos acontecimentos primordiais, o mesmo não ocorre com a tradição fundada por Tales. Anaximandro de Mileto (610-547 a.C.), por exemplo, levantando as mesmas questões sobre a origem das coisas, escolheu como princípio não a água, como seu mestre Tales, mas o *apeiron*, o ilimitado. Tal escolha fundamenta-se na sua idéia de que o princípio de tudo não pode ser determinado, como a água de Tales, mas deve ser indeterminado. Os elementos água, terra, fogo e ar deveriam se constituir do *apeiron*. Desta forma, Anaximandro representa um esforço na busca de uma explicação mais abstrata e genérica do real e, instaura a divergência na empreitada do conhecimento.

Esses primeiros filósofos, aos quais deveríamos acrescentar outros nomes, corajosamente deram-se à tarefa de conhecer a natureza

(*physis*) a partir dela própria e, com confiança nos poderes do intelecto humano, puseram em marcha o projeto de conhecimento do mundo no qual vivemos. Portanto, foram também os fundadores daquilo que chamamos Ciência.

Voltando ao problema do conhecimento, essa digressão histórica mostra que, já em suas origens, a divergência de opiniões configurou-se como uma das características da explicação científica. Agora, se duas opiniões são possíveis sobre um mesmo assunto, então uma delas está errada ou uma terceira deve ser a correta. Desta forma, instaurase, na relação do sujeito com o objeto, a dúvida. Tal dúvida é acentuada pelo fato histórico de que nossas teorias e crenças científicas não são imunes ao erro. Acreditamos, por exemplo, durante séculos, que vivíamos em uma terra estacionária que encerrava, em torno de si, o movimento dos demais orbes celestes.

Na Idade Moderna, os filósofos constataram que o erro era consequência de uma busca desorganizada do conhecimento, pois estava a investigação da verdade entregue à sorte e ao acaso. Para que o erro fosse evitado e a verdade alcançável, pensam os filósofos de então, necessitamos constituir um *método*, ou seja, um caminho ou conjunto de regras "para bem conduzir a razão e buscar a verdade nas ciências" (Descartes, 1983), separando a atividade científica de outras tradições de conhecimento. Pode-se ver, portanto, que, ao longo do tempo, impôs-se uma nova ordem de reflexões que acabaram construindo o campo da Filosofia da Ciência ou Epistemologia. Essa disciplina aspira proporcionar não só uma definição do campo científico, mas, ao mesmo tempo, projetar um conjunto de regras ou normas para a construção de tal conhecimento.

No século XX, diferentes modelos de ciência foram propostos. Dentro dos limites desse capítulo, seria impossível tratar de todas essas concepções. Assim, consideraremos três modelos representativos da Epistemologia contemporânea: a Epistemologia do Círculo de Viena (ou Empirismo Lógico), o Falseabilismo de Karl Popper e o Modelo das Revoluções Científicas, de Thomas Kuhn. Esses modelos foram escolhidos por representarem momentos distintos no desenvolvimento da epistemologia do século XX, uma tendência de análise lógica da ciência (o Círculo de Viena), uma tendência de análise histórica (Thomas Kuhn) e, situado entre estes dois, o modelo popperiano.

2. O EMPIRISMO LÓGICO DO CÍRCULO DE VIENA

"Reconhece de agora em diante, como regra fundamental, que toda proposição que não seja estritamente redutível ao simples enunciado de um fato, particular ou geral, não pode oferecer nenhum sentido real e inteligível". (Comte 1973).

Círculo de Viena é o nome dado a um grupo de cientistas e filósofos que, a partir de 1924, passou a se reunir em torno do filósofo Moritz Schlick, em Viena. Tal grupo tinha como objetivo refletir sobre a ciência e fundar uma filosofia cuja tarefa seria uma metodologia da ciência e análise lógica da linguagem. Entre os nomes do Círculo de Viena, destacam-se H. Hahn, O. Neurath, R. Carnap, G. Bergman, H. Feigl, F. Waismann e H. Reichenbach. Outros nomes importantes para a formulação da Epistemologia do Círculo de Viena são L. Wittgenstein e B. Russell, mas que não pertenceram ao Círculo. Vejamos, em linhas gerais, a epistemologia do Círculo de Viena.

A formulação de leis naturais tem sido encarada como uma das principais tarefas da ciência. A descrição sistemática do procedimento a ser adotado na busca de tais leis foi feita, inicialmente, por F. Bacon. Para Bacon, o cientista principia efetuando cuidadosos experimentos e observações, cuja acumulação permite-lhe formular hipóteses gerais. No passo seguinte, o cientista deriva previsões dessas hipóteses gerais e confronta-as com a experiência. Caso seja bem sucedido nesse processo de verificação, o cientista descobre mais uma lei natural. Assim, o método que permite fundamentar os enunciados gerais na observação é a indução. Ou seja, o método indutivo é o traço distintivo da ciência em Bacon, assim como na tradição fundada por ele até Mach e seus discípulos do Círculo de Viena. É o uso de tal método que permite a demarcação entre ciência e não-ciência. Enunciados científicos são, portanto, os únicos que levam ao conhecimento verdadeiro e seguro, pois são os únicos assentados sobre as bases sólidas das evidências observacionais e experimentais, diferindo assim dos argumentos baseados na tradição, na autoridade, na emoção, no preconceito, etc. A ciência, sendo, então, o corpus de tais conhecimentos certos e seguros, tem seu desenvolvimento na soma de certezas novas ao conjunto das certezas já existentes. Esta é a

concepção empirista de ciência e à qual a epistemologia do Círculo de Viena tratou de formalizar, como segue.

Segundo Moritz Schlick, o objetivo propriamente dito da Filosofia reside em procurar esclarecer o sentido de proposições² e, para ele, o sentido de uma proposição só pode residir no fato de a mesma exprimir determinados acontecimentos do mundo.

Porém, quando é que compreendemos uma proposição? Uma proposição pode ser conhecida por definições de seus termos. No entanto, o processo de definição deve parar em algum momento, pois, ao final, chegamos a palavras cuja significação não pode ser novamente descrita por uma proposição; esta significação deve aparecer de maneira imediata; a significação da palavra deve, em última análise, ser mostrada. Ou seja, podemos definir o termo "garfo" apontando para o objeto garfo. O critério para averiguar a verdade ou falsidade da proposição reside no fato de que, em determinadas condições, uma coisa pode ou não ocorrer. Ou seja, não existe nenhuma possibilidade de entender o sentido sem referir-nos em última análise à experiência sensível e, portanto, à possibilidade de verificação. O princípio de verificação afirma que uma proposição existencial tem significado se, ao menos em princípio, é possível confrontá-la com experiências sensíveis que permitam determinar sua verdade ou falsidade. Esse princípio se aplica a proposições que têm (ou aspiram ter) um conteúdo. Desta forma, os enunciados metafísicos, teológicos e axiológicos (morais), não sendo verificáveis empiricamente, carecem de significado. (Cf. Schlick, 1985a e 1985b).

Em um artigo publicado em 1931, *A superação da metafísica mediante a análise lógica da linguagem*, Rudolf Carnap afirmava que uma linguagem consta de um vocabulário e de uma sintaxe, quer dizer, de palavras que possuem significado e de um conjunto de regras que permitem a formação de proposições.

² Proposições são enunciados que afirmam ou negam alguma coisa a respeito de outra. Podemos formular proposições singulares ("Esse homem é mortal"), particulares ("Algum homem é mortal") ou universais ("Todo homem é mortal"). Na forma negativa, são assim enunciadas: "Esse homem não é mortal", "Algum homem não é mortal" e "Nenhum homem é mortal".

Com isso, Carnap queria mostrar que, quando não se atenta a estes dois aspectos da linguagem, fica-se sujeito a incorrer em duas espécies de pseudoproposições: aquelas que contêm palavras que nada significam e aquelas que são compostas de palavras dotadas de sentido, porém reunidas de modo anti-sintático, de maneira a formar proposições sem sentido como, por exemplo, "Rogério é um número primo" ou "O nada nadifica"³. Estas duas espécies de pseudoproposições são aquelas que, segundo Carnap, encontram-se comumente na metafísica, desde os gregos até a mais recente.

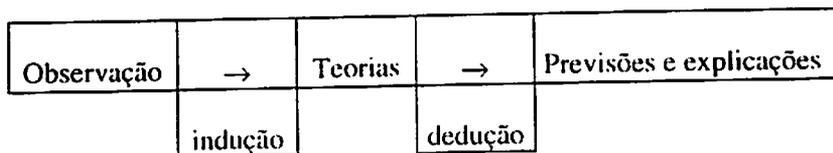
Estabelecido o critério de significação, o passo seguinte é construir uma linguagem em que os enunciados de uma teoria sejam passíveis de confronto com a experiência. Carnap distingue, em cada domínio das ciências empíricas, uma linguagem observacional, L_o , e uma linguagem teórica, L_t . Toda teoria é caracterizada pelo esforço de sistematizar o conhecimento de um determinado domínio da realidade, o que implica a necessidade de fixar os termos com os quais os enunciados sobre esse domínio são formulados. A idéia aqui é que as proposições da ciência, elaboradas de maneira universal, são sempre redutíveis a proposições observacionais singulares, e qualquer proposição que não seja redutível deve ser eliminada.

Para os empiristas do Círculo de Viena, por mais abstrata que seja a linguagem da ciência, é possível reduzi-la à proposições de observação ou protocolos observacionais. Vejamos como isso é feito. Suponhamos uma proposição universal do tipo "Todo cisne é branco". A formulação significativa de tal proposição somente pode ser realizada se: a) um grande número de cisnes brancos foi observado, b) tais observações foram realizadas sob uma ampla variedade de circunstâncias (durante o dia e à noite, em dias quentes ou frios, etc e c) nenhuma observação fugiu à regra. Estas três exigências constituem o chamado *princípio de indução*. Assim sendo, de proposições singulares do tipo: " X_1 é branco", " X_2 é branco", " X_3 é branco" ... " X_n é branco", onde $X =$ cisne, seria lícito, baseado no princípio de indução, concluir que "Todo cisne é branco". Além disso, de posse de uma proposição universal (lei ou teoria), podem ser feitas, por dedução, previsões e explicações: "o próximo cisne encontrado será branco".

³ Este último exemplo é utilizado por Carnap e foi extraído da obra *Was ist Metaphysik?*, de M. Heidegger.

Dessa forma, a imagem de ciência que o positivismo lógico nos fornece é assim esquematizada. A ciência começa com a observação e leis e teorias são generalizações de proposições singulares ou protocolos observacionais. A ciência é uma tentativa de descobrir um mundo real, no sentido de que as verdades científicas são verdades independentes de quem as pensa e de que existe uma única descrição verdadeira de qualquer aspecto do mundo. Além disso, é possível demarcar, usando de um critério de significação, a ciência de outras atividades humanas, tais como a religião, a magia, a metafísica, a arte, etc. A ciência é cumulativa: a história da ciência é a história da acumulação de proposições verdadeiras. Ainda, é possível fazer uma distinção entre observação e teoria. Conseqüência disto é que observações são realizadas de forma neutra, não sendo dependentes de teorias e conhecimentos prévios. Sendo assim, as observações e os experimentos apontam para os fundamentos das teorias e hipóteses. Partem também da idéia de que as teorias possuem uma estrutura indutivo-dedutiva, que pode assim ser esquematizada:

Figura 1- Modelo da construção de teorias e a natureza da explicação científica, segundo o modelo do empirismo lógico.



Os conceitos científicos têm um sentido bastante preciso e os termos empregados na ciência possuem significados fixos. Isso porque, teorias científicas são derivadas dos dados observacionais pelo processo de indução. Sendo assim, a verdade das observações garante a verdade das teorias. Estas, por sua vez, garantem a verdade das explicações e das previsões. Esta é a imagem de ciência que nos apresenta o Círculo de Viena.

3. O FALSEABILISMO DE POPPER

"Na realidade nós nada conhecemos, porque a verdade jaz no abismo" (Demócrito, fr. 11).

Dissemos acima que, para os filósofos do Positivo Lógico, a ciência começa com a observação e a elaboração de teorias é, em essência, um processo de indução, de um raciocínio que vai do particular para o geral. David Hume, no entanto, colocou uma dificuldade aparentemente intransponível ao princípio de indução. Ele mostrou, com uma virulência argumentativa raramente alcançada na história da filosofia, que os argumentos indutivos não são argumentos logicamente válidos. Por maior que seja o número dado de enunciados de observações singulares, estes não nos autorizam afirmar uma lei universal. Gerações têm visto o sol surgir todas as manhãs e, no entanto, nada nos garante que ele venha a nascer novamente amanhã. Para Hume, todos os nossos raciocínios que se referem a fatos fundam-se na relação de causa e efeito. Esta relação, no entanto, não pode ser concebida *a priori*. (Hume, 1980).

Uma das mais importantes contribuições de Karl R. Popper consistiu justamente em oferecer uma solução para o problema da indução, também chamado "o problema de Hume; e Popper resolveu o problema dissolvendo-o.

Como Hume, Popper considera não haver como justificar inferências de enunciados gerais a partir das observações de casos particulares. Em sua concepção, os procedimentos indutivos não fundamentam nada, pois os argumentos provenientes do processo indutivo incluem na conclusão um conteúdo que não está contido nos casos observados. Quando trabalhamos com a dedução, se as premissas são verdadeiras a conclusão necessariamente será verdadeira. Por exemplo, "Se todo homem é mortal e Sócrates é homem, então Sócrates é mortal". O mesmo, no entanto, não ocorre com os raciocínios indutivos. Por maior que seja o número de cisnes brancos observados, nada me garante que o próximo cisne também será branco. Bertrand Russell gostava de contar a história do peru indutivista para ilustrar os problemas com o raciocínio indutivo. Contava ele que existiu um peru que foi morar em uma fazenda. O peru notou que, toda a manhã, fizesse Sol ou chuva, em dias claros e nublados, frios ou quentes, etc, ele era alimentado sempre às 9:00 horas. Depois de um ano de

observações o peru conclui "Sou sempre alimentado às 9:00 horas da manhã". Infelizmente, para ele, esse era o dia 24 de dezembro e, ao invés de ser alimentado, nessa data ele foi degolado para a ceia de natal.

Chegamos a um impasse. Não existe uma lógica indutiva e a ciência, portanto, não pode fazer afirmações seguras a respeito do mundo, justificando-as como verdadeiras de maneira direta pelo uso dos sentidos. Se nos ativermos ao princípio de indução, destruiremos aquilo que é mais indispensável na atividade científica: as leis e teorias. Enunciados universais (leis e teorias) não poderiam ser considerados significativos, pois tais enunciados teriam de ser traduzidos, o que é impossível, em uma conjunção infinita de sentenças singulares. Destruido o princípio de indução e demonstrada a impossibilidade de uma lógica indutiva, pensa-se, a racionalidade da ciência estaria ameaçada. Porém, esta não é a posição de Popper. Ele quer, justamente, salvaguardar tal racionalidade e isto só é possível, segundo ele, recorrendo à lógica dedutiva. Somente ela é capaz de uma avaliação das proposições científicas. Porém, para chegar a esta conclusão, Popper é levado a questionar também o critério de demarcação estabelecido pelo Círculo de Viena.

Ocorre que, diferentemente da concepção tradicionalmente aceita pelos membros do Círculo de Viena, para Popper a ciência não tem início com a observação mas sim com a resolução de problemas. Ao tentar solucionar um problema, o cientista elabora suas hipóteses (conjecturas). Uma vez elaboradas, as conjecturas devem ser postas à prova. Esta prova se dá extraindo-se da teoria conseqüências preditivas e vendo se tais conseqüências se confirmam ou não. Se se confirma uma previsão, dizemos que a teoria está corroborada. Se se dá o contrário, dizemos que a teoria foi falseada.

Na concepção de Popper, uma teoria científica jamais poderá ser tomada como definitivamente verdadeira, mas pode, a qualquer momento, por meio de um único exemplo falseador, ser abandonada como falsa. Podemos expor a tese do falseabilismo, de modo mais esclarecedor, de outra forma. Existem proposições que, independentemente do que ocorre no mundo, são sempre verdadeiras. Por exemplo, a proposição "Ou está chovendo ou não está chovendo" é sempre verdadeira. Outras proposições, como "Está chovendo e não está chovendo", são sempre falsas. Tais proposições não são

informativas a respeito do mundo. As proposições da ciência, por outro lado, têm significado em função de nos informar sobre algum acontecimento do mundo. Sendo assim, as afirmações que elas fazem podem vir a se mostrarem frustradas. Embora não tenhamos como garantir a verdade de uma proposição universal, podemos, no entanto, vir a descobrir que ela é falsa. Por exemplo, a proposição "Todo cisne é branco" não pode ter sua verdade garantida por maior que seja o número de cisnes brancos observados. Mas basta um único cisne não branco para demonstrar que ela é falsa.

Disto se deduz o critério de demarcação de Popper: será considerada científica a teoria da qual se pode extrair conseqüências passíveis de serem refutadas factualmente. Ou seja, uma teoria será considerada científica se e somente se puder, por princípio, ser falseada. Por tudo isso, o objetivo da ciência não é mais o de atingir verdades eternas, mas sim o de produzir teorias cada vez mais próximas da verdade, ou seja, mais verossímeis. A ciência caminha através da retificação de erros. (Popper, 1982).

Popper adota a definição de verdade de Tarski: uma teoria é verdadeira se e somente se corresponde aos fatos⁴. Porém, devemos ter claro que essa é uma definição de verdade e não um critério de verdade, pois mesmo que nos deparemos com uma teoria verdadeira, jamais o saberemos. A garantia da verdade de proposições universais não pode ser estabelecida jamais: somente a certeza de sua falsidade pode ser atingida. A verdade é, então, somente um ideal regulador.

Desta forma, não temos leis do progresso científico, mas resta-nos um critério de progresso científico. Uma teoria T_2 é melhor do que uma outra teoria T_1 , suplantada por T_2 , nos seguintes casos:

- 1) quando T_2 faz assertivas mais precisas do que T_1 , as quais resistem a testes que são também mais precisos;
- 2) quando T_2 leva em consideração ou explica mais fatos do que T_1 ;
- 3) quando T_2 descreve ou explica os fatos com maiores detalhes do que T_1 ;
- 4) se T_2 resistiu a testes que refutaram T_1 ;

⁴ - Ou seja, a proposição "a neve é branca" é verdadeira se de fato for branca.

- 5) se T_2 sugere novos testes experimentais, que não haviam sido considerados antes de sua formulação (testes não sugeridos por T_1 , talvez nem sequer aplicáveis a T_1), conseguindo resistir a eles;
- 6) se T_2 permitiu reunir ou relacionar entre si vários problemas que até então pareciam isolados.

Os filósofos do Círculo de Viena haviam tentado fundamentar o empirismo com base nos protocolos de observações ou proposições singulares observacionais, que traduziriam os dados da experiência imediata e desempenhariam a função de instâncias últimas para viabilizar o teste de hipóteses.

Popper, no entanto, imediatamente rejeitou a idéia de que poderia haver proposições capazes de traduzir o dado imediato. Segundo ele, mesmo um enunciado simples e corriqueiro como "aqui está um copo com água", transcende o que é dado na percepção, pois os termos "copo" e "água" são universais que, enquanto tais, não admitem correlação com qualquer tipo de experiência sensorial específica. Imagine que alguém entre em uma sala de aula e diga "Eis aqui um pedaço de giz". À primeira vista, essa é uma proposição de observação típica. No entanto, uma tal proposição só pode ser proferida já com base em um referencial teórico como, por exemplo, a crença de que um objeto cilíndrico branco, encontrado em sala de aula, é giz. Além disso, se alguém argumenta que aquilo pode ser uma imitação, deixada ali por algum brincalhão, pode-se ir até à lousa e escrever com o objeto. Aí temos mais teoria: a crença de que um objeto cilíndrico branco encontrado em sala de aula é um giz se deixa traço sobre a lousa. Ou seja, quanto mais tivermos que demonstrar nossa crença em uma observação, a mais teorias deveremos recorrer. Desta forma, a observação só é possível à luz de teorias e a ciência, portanto, não começa com a observação, mas sim com um problema colocado por uma teoria prévia.

Vários são os pontos que aproximam a epistemologia popperiana do Positivismo Lógico e vários são os que o afasta. No entanto, aqui nos interessam aqueles pontos que distinguem os dois modelos e os principais são os seguintes⁵. Primeiro, a crítica à indução. A tese central

⁵ Para uma descrição mais detalhada, remeto o leitor a Coutinho (1996).

de Popper é que não existe lógica indutiva, ou seja, de que não há processo de indução através do qual seja possível confirmar teorias científicas e, portanto, não existe papel na epistemologia para uma teoria da confirmação ou da verificação tal e qual a entenderam os filósofos do Círculo de Viena. Em segundo lugar, a defesa da metafísica. Com base em critérios de “significado”, os filósofos lógicos sustentaram a insensatez de qualquer proposição metafísica. Para esses filósofos, proposições metafísicas são proposições sem-sentido, pseudoproposições. A metafísica não passa de uma atitude emotiva diante da vida e do mundo. Portanto, são proposições que não podem ser discutidas racionalmente, tal como o conteúdo de um poema ou de uma sinfonia. Popper reconhece, no entanto, que, embora não sendo uma ciência, a metafísica não é destituída de sentido. As proposições da metafísica, embora irrefutáveis, podem ser discutidas racionalmente. Além disso, para Popper, aquilo que começa como metafísica pode acabar como ciência. A história da ciência atesta a importância que tiveram algumas idéias metafísicas, na medida em que elas direcionaram a pesquisa, gerando o embrião de hipóteses científicas. Ou seja, grande parte das teorias científica teve sua origem em idéias metafísicas ou em mitos. O sistema de Copérnico, por exemplo, inspirou-se na adoração dos neoplatônicos da luz solar, que precisava ocupar o “centro” do universo devido à sua nobreza. Assim, a idéia platônica de que o Sol tem a mesma função no universo das coisas visíveis que a idéia de *Bem* tem no universo das idéias, constituiu a base histórica da revolução de Copérnico. Isso mostra como mitos e idéias metafísicas podem acabar vindo a desenvolver componentes testáveis tornando-se, posteriormente, afirmativas científicas.

Em linhas gerais, essa seria a Epistemologia popperiana. Vejamos agora o terceiro modelo que nos propusemos analisar.

4. A ESTRUTURA DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS DE THOMAS KUHN

“Quando eu uso uma palavra – disse Humpy Dumpty, num tom de deboche – ela significa apenas aquilo que eu quero que ela signifique, nem mais, nem menos. (Carroll, L. Alice através do espelho)”.

O livro *A estrutura das revoluções científicas* (Kuhn, 1978), principal obra de Thomas S. Kuhn, tem como tese central a idéia de que a visão

clássica do desenvolvimento científico como uma acumulação linear do saber é incompatível com os resultados da pesquisa histórica. O que a história da ciência nos indica, segundo Kuhn, é que a mudança científica é fundamentalmente revolucionária.

Dentro do modelo epistemológico de Kuhn, cumpre um papel fundamental a noção de *paradigma*. Segundo Kuhn, uma ciência é governada e se constitui pela aceitação, por parte da comunidade científica, de um paradigma. Com o termo "paradigma", Kuhn indica um resultado científico fundamental que inclui uma teoria e algumas aplicações típicas aos resultados das experiências e observações. Mais importante ainda é um resultado cuja conclusão está em aberto. Desta forma, o paradigma – a "Astronomia Ptolomaica" (ou "Copernicana"), a "Dinâmica Aristotélica" (ou "Newtoniana"), a "Óptica Corpuscular" (ou "Óptica Ondulatória"), etc – determina o modelo para o trabalho dentro da ciência que governa, do mesmo modo que dogmas instituem e governam uma determinada comunidade religiosa.

Devemos, no entanto, precisar melhor as conseqüências da aceitação de um paradigma por parte da comunidade científica. Para tanto, devemos nos referir ao que ocorre no estágio inicial de uma ciência, quando esta ainda não se firmou como uma tradição de pesquisa. Aprendemos com o estudo histórico, segundo Kuhn, que o estágio inicial de uma ciência caracteriza-se pela inexistência de um modelo único de condução da pesquisa, compartilhado pela maioria dos membros daquele campo. Nestas etapas iniciais, os cientistas convivem com várias escolas de pensamento que interpretam diferentemente os fatos compreendidos por seu campo de trabalho. A alquimia, por exemplo, foi uma etapa pré-científica da química.

Nos estágios seguintes, a competição entre escolas rivais tende a desaparecer. Um determinado ponto de vista, um paradigma, conquista a adesão da maioria dos cientistas e um consenso começa a se estabelecer. Esta conversão da maioria dos pesquisadores a um determinado ponto de vista indica que o campo científico em questão entrou na maturidade. O que, para Kuhn, caracteriza uma ciência madura é a adoção deste ponto de vista, ou seja, de um paradigma.

Assim, a adesão a um paradigma implica um comprometimento profissional. Ao adotarem um paradigma, os cientistas obrigam-se a seguir um conjunto de regras que, daí em diante, conduzirão a sua

prática científica. Ou seja, o paradigma formula, por assim dizer, as regras do jogo e demarca os objetivos a serem atingidos. De posse de um paradigma, a tarefa do cientista consiste em organizar as peças, tal como um solucionador de quebra-cabeças, segundo as regras estabelecidas e de maneira que seja alcançado o objetivo que se tem em vista. Não pode haver pesquisa eficaz sem que o cientista tenha se comprometido com o paradigma de sua área: “a natureza é demasiado complexa para ser explorada ao acaso mesmo de maneira aproximada” (Kuhn, 1974: 72). Portanto, deve haver algo que indique ao cientista onde procurar e por que procurar, e esse algo é o paradigma.

Uma vez adotado um paradigma este deve ser transmitido à futura geração de cientistas. Os jovens pesquisadores, a serem admitidos na comunidade científica, recebem a sua educação através dos manuais, que lhes transmitem uma visão clara e ordenada da atividade científica.

A prática científica, após a adoção do paradigma, constitui o que Kuhn chama de “ciência normal”, que assim ele define:

“(…), ‘ciência normal’ significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior. Embora raramente na sua forma original, hoje em dia essas realizações são relatadas pelos manuais científicos elementares e avançados.”
(Kuhn, 1978: 29).

O exame da prática da ciência normal revela algo importante: a ciência normal não visa a produção de novidades, no sentido de buscar alterações no paradigma vigente, pela descoberta de fatos inesperados. A adoção de um paradigma coloca, para a comunidade científica, uma série de problemas que resultam das tentativas de aperfeiçoá-lo. É essa característica, a de ser uma tradição de solução de enigmas que, segundo Kuhn, separa a ciência de outras atividades. Porém, coloca-se a questão: se a ciência normal não é um empreendimento voltado para a descoberta de novidades, como pode, no entanto, provocá-las? Ou seja, como ocorrer o desenvolvimento da ciência?

Segundo Kuhn, a alteração não consiste no aperfeiçoamento cumulativo do paradigma, mas de sua substituição total por um outro, através de um processo "revolucionário". É a esse tipo de desenvolvimento científico não-cumulativo que Thomas Kuhn denomina "revolução científica". À medida que o paradigma se torna mais preciso e amplia seu alcance, mais sensível também ele se torna como indicador de anomalias, isto é, do reconhecimento de que a natureza frustrou as expectativas paradigmáticas e, conseqüentemente, informa a necessidade de sua revisão. Quanto mais se sabe com precisão o que esperar, mais se é capaz de reconhecer que algo está errado. Com o acúmulo de anomalias, surge a necessidade de revisão do paradigma, pois se intensifica a sensação de fracasso do modelo vigente. No campo científico afetado, instaura-se uma insegurança profissional e o cientista sente-se desamparado, sente a vertigem da ausência de fundamento, pois que é o paradigma que constitui a base firme da vida profissional.

Na exposição que Kuhn faz do processo de escolha entre paradigmas em competição, aparece uma tese crucial para seu modelo epistemológico. Tal escolha não pode ser orientada empregando-se unicamente demonstrações lógicas e experimentais, isto é, comparando entre si o "conteúdo" dos paradigmas. Essa comparação não pode ser feita porque paradigmas opostos são necessariamente *incomensuráveis*.

A incomensurabilidade entre paradigmas deve-se ao fato de o novo paradigma consistir numa completa redefinição do campo de trabalho. Adotar um paradigma novo significa adotar teorias, leis, métodos e padrões científicos novos. Altera-se, portanto, toda a concepção de ciência e, num certo sentido, a própria "visão de mundo" do cientista, pois o novo paradigma não apresenta apenas leis que são diferentes, mas todo um novo arcabouço conceitual e é exatamente porque apresentam estruturas conceituais distintas que se pode dizer que dois paradigmas sucessivos são *incomensuráveis* entre si. Pode-se depreender da análise de Kuhn que a realidade sobre a qual se aplica a ciência, o objeto de sua reflexão não é a natureza, "o mundo", em sua suposta objetividade, mas sim uma realidade construída pelo paradigma, pois é ele que define as entidades que a povoam, as relações destas entidades entre si, bem como essas entidades podem ser conhecidas. É por essa razão que Kuhn afirma que, com a mudança do paradigma, muda o próprio mundo no qual o cientista

trabalha, altera-se a forma como ele percebe a realidade, porque a percepção não é estável e nem imparcial. Ela é sempre dependente de um modelo interpretativo: aquilo que o cientista vê depende tanto do objeto que olha como daquilo que suas concepções prévias lhe ensinaram a ver.

A Estrutura das Revoluções Científicas começa com a observação de que nossa imagem da ciência poderia sofrer uma completa transformação se contemplássemos mais desapassionadamente a história real da ciência. Segundo Kuhn, entre a imagem da ciência que se estabeleceu entre nós e as realidades das práticas científicas se estende uma vasta sombra e sugere ele que a reflexão acerca das fontes desta imagem da ciência necessariamente nos conduzirá à conjectura de que tal imagem apresenta graves distorções. A imensa maioria de nós adquire sua imagem ou dos manuais científicos ou das exposições populares da ciência cujos autores derivam por sua vez sua imagem dos citados manuais. O objetivo de tais livros, onde estão disseminadas idéias e técnicas científicas, é “inevitavelmente persuasivo e pedagógico” (Kuhn, 1978). Tudo o que neles aprendemos acerca da história da ciência, aprendemos através de depuradas versões dos triunfos científicos do passado. Nada nos dizem dos fracassos. Nada nos chega acerca do estado da ciência durante seus períodos de desenvolvimento e disputas em torno de concepções concorrentes. Se esta é a fonte de nossa imagem de ciência, temos realmente motivos para nos preocuparmos em relação à sua plausibilidade.

Que outro quadro, então, nos apresenta Kuhn? Suas teses centrais podem ser assim apresentadas: primeiro, uma distinção entre *ciência normal* e *ciência revolucionária*. Uma vez madura, uma ciência passa por uma seqüência de *ciência normal-crise-revolução-nova ciência normal*. A ciência normal é uma atividade de resolução de enigmas (quebra-cabeças), na qual os pesquisadores ocupam-se em estender suas técnicas a novos problemas e suprimir os problemas que existem em um determinado campo de conhecimento. A ciência normal é dogmática e conservadora e apóia seus investigadores quanto mais conservadores e dogmáticos se mostrem. No entanto, as anomalias que surgem tornam-se persistentes, o que gera uma crise. Surge então a necessidade de uma total reestruturação teórica do campo de investigação e, desta forma, deflagra-se uma revolução científica. A segunda tese central de Kuhn nucleia-se em torno da noção de

paradigma. Uma ciência normal se caracteriza pela adoção de um paradigma. O paradigma abrange a maneira acertada de resolver os problemas e ao mesmo tempo abrange os métodos, as normas e as generalizações compartilhadas por aqueles que foram preparados para trabalhar e modelar o paradigma. A terceira tese diz que a passagem de um paradigma a outro por meio de revoluções científicas não ocorre porque o novo paradigma seja melhor que o antigo e nem ocorre porque há melhores provas das teorias associadas ao novo paradigma. Ocorre porque se instaurou no antigo campo de investigação um conjunto de anomalias que se mostraram incapazes de serem resolvidas. Ou seja, o paradigma antigo entra em *crise*. A quarta tese é a de que os paradigmas são *incomensuráveis* entre si. Ou seja, não há maneiras de comparar os paradigmas em competição nem os sucessivos paradigmas. As sucessivas etapas de um determinado campo de conhecimento podem enfocar problemas distintos sem que haja uma medida comum de seu êxito. A quinta tese diz que *a ciência não é cumulativa*. Isso ocorre porque é o paradigma que determina que tipos de perguntas e que respostas são procedentes. Com um paradigma novo, as perguntas antigas deixam de ter sentido e as antigas respostas podem deixar de ser importantes e, até mesmo, podem tornar-se ininteligíveis. A adoção de um paradigma é semelhante a uma *mudança gestáltica*. Adota-se um novo paradigma de maneira súbita. Repentinamente, um pesquisador em crise adota um novo modo de observar e uma nova maneira de encarar algum aspecto do mundo. A adoção de um paradigma é feita por persuasão e não por argumentação racional. Cada paradigma oferece uma maneira diferente de ver o mundo.

Esta é a imagem da ciência que nos é apresentada por Kuhn. Uma imagem que se coloca em confronto direto com a imagem que nos era apresentada pelos filósofos do Círculo de Viena e pela epistemologia popperiana. Esta imagem nos diz que cada um dos pontos defendidos e estruturados pelos filósofos lógicos se apresenta como uma maneira distorcida de ver a ciência. A ciência que Kuhn nos apresenta não é compatível com uma epistemologia de orientação realista (o que determina os fenômenos e as entidades do mundo é o paradigma); a demarcação entre ciência e não ciência não é clara; a ciência não é cumulativa; o que se observa depende da teoria (portanto não há distinção entre termos teóricos e termos observacionais) e por esse mesmo motivo a ciência não se fundamenta nas observações e nos experimentos; as relações entre teorias e observações podem diferir

em paradigmas sucessivos. E assim como não há uma pura lógica da evidência, as teorias não possuem uma estrutura dedutiva precisa; os conceitos científicos dependem do paradigma do qual recebem significado e são mais flexíveis que precisos.

5. HOMENAGEM AO GATO DE CHESSHIRE

"Bem! Já vi muitas vezes um gato sem sorriso, pensou Alice; mas um sorriso sem gato! É a coisa mais curiosa que já vi na minha vida".
(Carroll, L. Alice no país das Maravilhas).

Iniciamos esse capítulo com a pergunta bem geral "o que é conhecimento científico" e, ao final, vimos três modelos que podem ser colocados em confronto direto. Ainda poderíamos estender a lista e apresentar outros modelos: Imre Lakatos, Larry Laudan, Paul Feyerabend, Dudley Shapere, Wolfgang Stegmüller e por aí vai. Ou seja, após tantas páginas ainda continuamos sem saber o que é Ciência e aqueles leitores que procuravam uma definição precisa, agora, devem estar frustrados, pois o que acabamos por encontrar foi a diversidade de opiniões sobre que seja o trabalho científico. Confrontadas as diversas opiniões que animam os filósofos da ciência, o desejo imediato que surge, e quase de bom senso, é optar pela suspensão cética do juízo, ou seja, dizer que quanto à definição de ciência o melhor é não proferir opinião. No entanto, esta suspensão só seria possível se de fato concluíssemos que o que podia ser feito já o fôra. Acreditamos, no entanto, que não seja necessário uma tomada de posição tão drástica. Ainda mais que tal posição se nos afigura como uma triste paz do cemitério. O *Homo sapiens* só tem uma história porque nossos ancestrais responderam e deram soluções a problemas que lhes foram apresentados durante o curso da evolução. Assim, enfrentemos este.

Como ponto de partida, deve-se ter em mente que os modelos epistemológicos aqui apresentados, se colocados em prática, destruiriam o que chamamos e conhecemos como Ciência. A exigência de que teorias científicas devam ser generalizações a partir dos fatos nos deixa sem teorias. Toda teoria diz mais do que pode ser observado e toda observação só é possível à luz de teorias. Também a metodologia falseacionista mata qualquer teoria no próprio

nascimento. Não existe nenhuma teoria que esteja em acordo com todos os fatos de sua área e não existe uma única teoria que não possua exemplos falseadores. O modelo de Thomas Kuhn de que a Ciência Normal é uma tradição de resolução de problemas coloca a Ciência em companhia pouco recomendável: a máfia. Em uma análise, Feyerabend conclui que a caracterização da ciência normal feita por Kuhn serve igualmente para o crime organizado (cf. Feyerabend, 1979).

No entanto, cada um desses modelos contribuiu para ampliar nossa imagem de Ciência. O Positivismo Lógico representou um dos momentos mais criativos da história da Filosofia. Pela primeira vez, um grupo de cientistas e filósofos, armado com os poderosos instrumentos da Lógica Simbólica, enfrentou o desafio de definir a Ciência. Suas contribuições não podem ser menosprezadas. A análise lógica da linguagem e de teorias científicas marcou para sempre a nossa busca por proposições com significado. O modelo popperiano exerceu, como nenhum outro, influência sobre cientistas e filósofos. Popper foi, por assim dizer, a "oposição oficial ao Círculo de Viena" (Neurath). Graças a Popper, pudemos nos livrar do indutivismo. Ainda, boa parte da Epistemologia contemporânea pode ser considerada um desenvolvimento em resposta a Popper. Sua atitude racionalista está lá, a nos lembrar dos excessos do relativismo. Thomas Kuhn, com a idéia de que a Epistemologia não é reconstrução lógica de teorias, possibilitou uma ampliação de nossa compreensão da natureza do trabalho científico. A História da Ciência, nos ensina Kuhn, tem muito a nos dizer sobre como é feita e o que vem a ser Ciência. Assim sendo, Kuhn introduziu a idéia de que se queremos saber o que é ciência, então o mais razoável é prestarmos atenção ao que os cientistas fizeram ou fazem.

Porém, ainda não definimos o que seja o conhecimento científico. E talvez não venhamos jamais a fazê-lo. A cada modelo que recorremos, temos uma ampliação de nossa compreensão da Ciência. Contudo, a tarefa é por demais complexa para ser definida. Para algumas atividades, não hesitamos colocá-las no rol das ciências (a Física, por exemplo). Outras, nitidamente excluíamos (por exemplo, a Astrologia e o Criacionismo Científico). Porém, para uma parte considerável de tradições de conhecimento a dúvida ainda permanece (História e Ciência Cognitiva, por exemplo). Mais ainda, muitas tradições não gostariam de ter seus nomes associados com as ciências.

Os seres humanos têm por hábito categorizar as coisas. Ao categorizar ou definir uma entidade do mundo, algumas devem ficar dentro e outras fora da categoria ou da definição. Por exemplo, ao se definir “cadeira” espera-se que dentro da definição não caiam tamborete e bancos de jardim. Todavia, não é desejável que algumas cadeiras, só por que são mais estilizadas, fiquem de fora. Esquece-se, contudo, que categorias bem comportadas são raridades. Wittgenstein (1953) já havia observado que muitas categorias não têm fronteiras fixas. As categorias podem ser estendidas e novas entidades serem acrescentadas. A introdução do videogame, na década de 1970, ampliou a categoria de jogo. Da mesma forma, as categorias podem se retrair e algumas entidades desaparecerem. A categoria “peixe”, por exemplo, hoje não engloba mais os cachalotes. Entre os vários autores que lidaram com formas de categorização não-clássicas, Lofti Zadeh (1965) desenvolveu uma teoria dos conjuntos difusos (*fuzzy sets*). Em uma categoria clássica, as coisas estão dentro (possuem um valor de pertença 1) ou fora do conjunto (possuem valor de pertença 0). Em conjuntos difusos, como Zadeh os definiu, valores intermediários entre 0 e 1 podem ser atribuídos.

Em uma categorização clássica gostaríamos de captar da coisa aquilo que nela é essencial. Ao queremos definições precisas, partimos do pressuposto de que as entidades possuem essências que fazem delas o que são, em oposição àquilo que é simplesmente accidental. Por exemplo, para Aristóteles o que faz com que uma entidade possa ser chamada de Homem é o fato de ser racional. Por outro lado, ser baixo ou alto, rico ou pobre, gordo ou magro são acidentes e, portanto, não entrariam na definição de Homem. Para Aristóteles, por tanto, o homem pode ser definido como um “animal racional”. Os acidentes gordo, rico e baixo não entrariam na definição.

De posse dessas noções, minha sugestão aqui é a de que, ao lidarmos com a Ciência, estamos tratando com uma categoria mal comportada, que não possui uma essência definidora. A atividade científica e a busca pelo conhecimento são por demais complexas para serem definidas em sua essência. Lewis Carroll, em *Alice no país das maravilhas*, nos apresenta o Gato de Cheshire, que era capaz de desaparecer, embora permanecesse o sorriso. Essa figura incômoda pode ser encarada, então, como a fórmula de *acidentes sem uma essência*. Temos o acidente risonho, mas não temos uma essência que ri. Utilizo aqui esse exemplo para sugerir que a Ciência, em toda sua

complexidade, jamais poderá ter uma "essência" definida. Tal como o Universo físico no qual vivemos, também a busca pelo conhecimento está em expansão. Em um Universo em construção, em um Cosmo inacabado, quase nada possui uma essência determinada. Assim, também a epistemologia, incumbida de examinar a Ciência, deve se contentar em criar seus modelos com a certeza de que o máximo que conseguiremos é uma ampliação de nosso entendimento do que seja a ciência. Sugiro que devemos deixar de lado a busca de uma definição e de uma essência precisas. Que a verdade fique, como queria Popper, como um "ideal regulador".

A epistemologia vive hoje o drama de se deparar com grandes modelos alternativos e, na esteira das indagações que nos levaram a esse capítulo – "o que é o conhecimento científico?" – deparamo-nos com três destas grandes alternativas. Outros modelos ainda estão por ser desenvolvidos e é isso que faz da epistemologia uma atividade à qual vale a pena se dedicar. Para finalizar, devemos ter em mente que cabe à Epistemologia a busca pelo que seja o conhecimento científico e assim definir normas de procedimentos metodológicos. Criar normas metodológicas não é tarefa da História da Ciência e nem da Sociologia do Conhecimento, mas sim da Epistemologia. Porém, para que estas normas se tornem mais realistas, acredito, é indispensável o contato com o trabalho efetivo dos cientistas. Não se cria uma imagem ideal de ciência e, depois, retornar-se ao mundo real na esperança de que este nos obedeça e se comporte conforme nossas regras. Ainda, os avanço das ciências do cérebro e da neurociência cognitiva têm muito a nos ensinar sobre o funcionamento do aparato cognitivo humano e, desta forma, têm muito a contribuir para nossa compreensão de como adquirimos conhecimentos, de como categorizamos o mundo e de como funciona o nosso raciocínio. Sendo assim, muito têm a contribuir para o enriquecimento da epistemologia.

Os problemas estão postos, caminhos estão apontados, resta-nos procurar as respostas. Porém, para quem se compromete com a tentativa de compreensão da Ciência, só existe um expediente, a saber: o confronto com a real atividade dos agentes que, ao longo da história, vêm empreendendo a tarefa de sua construção, mesmo que seja para, ao final de nossas pesquisas, confirmarmos a antiga proposição: "quando a coisa é indefinida, a regra também é indefinida" (Aristóteles, 1973).

AGRADECIMENTOS. Agradeço as leituras e comentários de Rosemary Rodrigues Silva, Cláudio Seliar e do Grupo de Estudos Interdisciplinares que, desde 1998, vem se reunindo sistematicamente, todas as terças-feiras, sob o Sol ou tempestades. Este trabalho também tem uma dívida imensa para com o Prof. Dr. Ricardo V. Fenati que, durante meu percurso pela filosofia, foi meu orientador e continua sendo fonte fecunda de inspiração. No entanto, isso não significa que eu tenha permanecido fiel ao que estas pessoas me ensinaram e, assim, qualquer falha neste trabalho deve ser imputada única e exclusivamente a mim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARISTÓTELES. *Ética a Nicômaco*. São Paulo: Abril Cultural, 1973. (Col. Os Pensadores).

CARNAP, R. Testabilidade e significado. In: SCHLICK, M., CARNAP, R. *Coletânea de textos*. São Paulo: Abril Cultural, 1985. (Col. Os Pensadores).

CARNAP, R. La superación de la metafísica mediante el análisis lógico del lenguaje. In: AYER, A. J.(ORG.). *El positivismo lógico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1986.

CARROLL, L. *Alice's adventures in Wonderland – Through the looking glass*. London: Octopus Books, 1978.

COMTE, A. *Curso de filosofia positiva*. São Paulo: Abril Cultural, 1973. (Col. Os Pensadores).

COUTINHO, F. A. *Horizontes na epistemologia: análise lógica e análise histórica*. Belo Horizonte: Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, UFMG, 1996. (Dissertação de Mestrado).

DESCARTES, R. *Discurso do método*. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (Col. Os Pensadores).

FEYERABEND, P. K., *Consolando o especialista*. In: LAKATOS & MUSGRAVE (Orgs.) 1979.

HUME, D. *Investigação sobre o entendimento humano*. São Paulo: Abril Cultural, 1980. (Col. Os Pensadores).

KUHN, T. A função do dogma na investigação científica. In: DEUS, J. D. (Org.) *A crítica da ciência: sociologia e ideologia da ciência*. Rio de Janeiro: Zahar, 1974.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1978.

KUHN, T. Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa. In: LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. (Org.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.

LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. (Org.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.

MICHAELIS. *Moderno dicionário da língua portuguesa*. São Paulo: Melhoramentos, 1998.

POPPER, K. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 1972.

POPPER, K. *Conjecturas e refutações*. Brasília: UnB, 1982.

SCHLICK, M. Positivismo e realismo. In: SCHLICK, M., CARNAP, R. *Coletânea de textos*. São Paulo: Abril Cultural, 1985a. (Col. Os Pensadores).

SCHLICK, M. Sentido e verificação. In: SCHLICK, M., CARNAP, R. *Coletânea de textos*. São Paulo: Abril Cultural, 1985b. (Col. Os Pensadores).

SCHLICK, M., CARNAP, R. *Coletânea de textos*. São Paulo: Abril Cultural, 1985. (Col. Os Pensadores).

WITTGENSTEIN, L. *Philosophical investigations*. New York: MacMillan, 1953.

ZADEH, L. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353, 1965.

CONHECIMENTO SOBRE CONHECIMENTO

Wilhelm Walgenbach
IPN-Univ. de Kiel

1. INTRODUÇÃO: POR QUE CONHECIMENTO SOBRE CONHECIMENTO ?

É ainda difícil aprender, em atividades escolares, cânones básicos de conhecimento tais como fundamentos da matemática, linguagens e ciências naturais. Precisamos investir muito mais para nos tornarmos bons especialistas, por exemplo, em biologia, matemática ou física. Hoje isso ainda é mais difícil do que no passado: não basta aprender o formato clássico de uma disciplina (como a mecânica clássica em física). É necessário também apropriar-se de conhecimentos modernos como (nano-)(gen-)tecnologia. Existe uma explosão de conhecimentos e, cada vez mais, é impossível manter apenas uma visão superficial da própria especialização. Assim, pode não existir uma grande

disponibilidade e abertura de interesse pelo conhecimento sobre conhecimento. Para se alcançar o conhecimento sobre conhecimento é necessário reconstruir, historicamente, como o próprio conhecimento se desenvolveu e não apenas de uma disciplina (o menor desenvolvimento é aquele da própria disciplina). Pode-se avançar sobre o conhecimento em geral, isto é, sobre disciplinas como filosofia, epistemologia ou heurística – uma disciplina que pesquisa a construção do *novo* nas artes e nas ciências. Está claro que especialmente pesquisadores nas ciências naturais e nas tecnologias temem dar este passo na direção de um conhecimento mais geral, já que eles devem fazê-lo em relação a disciplinas mais *soft(s)*. Isso colide com a sua decisão de ter escolhido disciplinas empíricas *hard(s)*. Eles gostam de compreender coisas, baseando-se em dados empíricos, mas não de discutir sobre Deus e sobre o mundo.

Assim, há muitas razões de peso para evitar o *conhecimento sobre conhecimento* e somente quando existe uma necessidade premente e benefícios evidentes nós o faríamos. É assim que os fatos acontecem. Uma consequência da explosão do conhecimento em todas as áreas da sociedade é a desintegração do conhecimento. Isso apresenta consequências decisivas, por exemplo, para a qualidade do nosso meio ambiente. Quando tentamos resolver problemas ecológicos no domínio de uma disciplina ou de um número limitado de disciplinas, cometemos, em maior ou menor grau, erros desastrados, porque não damos atenção suficiente à complexidade dos problemas. Desse modo, não é suficiente resolver os problemas atuais com base em certas disciplinas, mas devemos integrar diferentes conhecimentos não apenas das ciências naturais, mas também das ciências humanas e das artes. Para isso devemos estar aptos a integrar diferentes formas de conhecimento em um novo sistema, em uma nova totalidade que é mais poderosa do que o conjunto das partes componentes. Logo, surge a questão: como podemos construir sistemas complexos de conhecimento ?

Um outro exemplo é a navegação pela Internet. Para certos problemas, podemos encontrar uma grande quantidade de informações. Devemos, entretanto, transformar essas informações em conhecimento para nós mesmos. Para isso devemos ter a capacidade de julgar diferentes espécies de informação e selecionar os elementos que são importantes e relevantes para nós. Através desses procedimentos, devemos construir uma nova totalidade. Devemos ser capazes também de

desenvolver mais o sistema criado e com uma qualidade superior. Por essa razão, é útil comunicar-se com outros especialistas para melhorar os próprios sistemas subjetivos, orientando-os mais objetivamente. Tudo isso só podemos viabilizar através do *conhecimento sobre o conhecimento*. E apenas nessas circunstâncias, dispomos dos meios para a construção da auto-organização de conhecimentos complexos, em interação com outros elaboradores de conhecimento.

Dispondo de algumas experiências com essas metateorias e com o seu uso, podemos, ao menos, alcançar um estágio para reconhecer que as nossas construções dependem, em grande parte, de nossa própria personalidade, valores, convicções, normas, preferências, ideologias etc. Assim, por necessidade herdamos a visão mínima de que devemos olhar para nós mesmos e para nossa maneira de construir conhecimentos. O modo mais produtivo de produzir tais metacognições é fazê-lo em grupos experimentais que tentariam, em conjunto, criar o novo, de forma auto-reflexiva.

O conhecimento construído não pode ser fechado, nem acabado, porque nós, como seres humanos, estamos sempre em desenvolvimento. Os resultados desse processo de construção do conhecimento, portanto, podem ser, para outros homens, apenas orientações (=heurísticas) e não produtos acabados. Isso traz conseqüências fundamentais para o processo de globalização que está acontecendo nos dias atuais: não apenas um homem, nem certos grupos de homens, não apenas uma nação, nem certos grupos de nações podem pressionar outros homens em função dos sistemas por eles produzidos. Em um processo intercultural devem-se organizar procedimentos complexos e simétricos de construção de conhecimento, fundamentado em *conhecimento sobre conhecimento* (metateorias) e em *conhecimento sobre si mesmo como um construtor de conhecimento* (metacognições)

2. OBSERVAÇÕES METODOLÓGICAS: A RECONSTRUÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NUMA VISÃO OCIDENTAL E MACROSCÓPICA.

Como poderemos obter conhecimento sobre o conhecimento? Obviamente, deve-se observar a história e reconstruir o desenvolvimento do conhecimento. Entretanto, quando assumimos

seriamente que todo conhecimento é uma construção orientada por interesses pessoais e humanos, então devemos esclarecer qual o nosso interesse principal pela reconstrução do conhecimento.

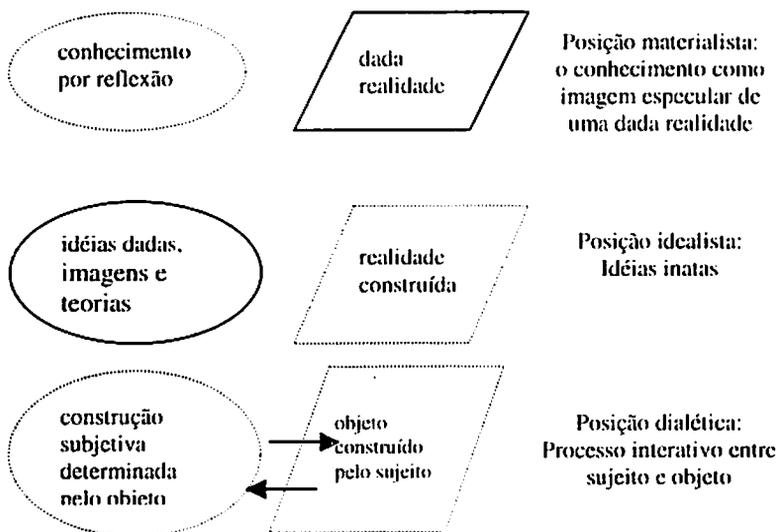
Em decorrência da visão acima, está claro que não podemos procurar, em geral, por um único e verdadeiro *conhecimento sobre conhecimento*. Nosso interesse é obter orientações para a construção de um novo conhecimento. A reconstrução será útil para obter tais orientações que sempre devem ser vistas relativamente.

Um outro problema é decidir sobre a complexidade e a amplitude do conhecimento que gostaríamos de investigar. Por ser este um artigo escrito no contexto de uma cooperação científica entre pesquisadores brasileiros e alemães, é óbvio que devemos dirigir a reconstrução para um conhecimento em comum, neste caso, para o conhecimento científico. Por ser ainda o corpo global do conhecimento científico determinado, principalmente, pelo pensamento ocidental, ele deve obviamente concentrar a atenção, primeiramente, nesse tipo de conhecimento. No entanto, nunca se deve esquecer de que se trata apenas de tipos possíveis e existentes de conhecimento, como também de conhecimento científico.

É importante assumir, além do mais, suposições teóricas para a reconstrução do conhecimento que pode ser visto como, mais ou menos, espelhando uma dada realidade. Daí, a extensão da construção humana pode ser pequena, conforme posições do materialismo, do empirismo ou do positivismo. Em oposição a estes, podemos atribuir um peso maior aos sujeitos humanos como construtores do conhecimento. Trata-se de uma tendência presente em abordagens como o idealismo, o racionalismo ou – numa versão moderna – o construtivismo (radical). Abordagens intermediárias estão fundamentadas no pensamento dialético: o objeto (a realidade) não deve ser visto como algo dado, mas como construído, através de uma teoria-guia, pelos sujeitos. Ao mesmo tempo, os sujeitos são influenciados e determinados pelos objetos. Assim, o conhecimento não é mais estático para uma dada realidade ou nas idéias de um sujeito. O conhecimento é antes construído de modo dinâmico e evolutivo, num processo interativo no qual o sujeito constrói os

objetos e usa-os, como meio para criar idéias, imagens, teorias, sistemas de conhecimento⁶ etc.

Figura 1- Interação sujeito/objeto



3. CONHECIMENTO SOBRE CONHECIMENTO: UMA VISÃO HISTÓRICA DE IMAGENS COMO MEIO PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

Imagens são meios básicos para a construção do conhecimento. Um exemplo bem conhecido é a construção do anel de benzeno pelo químico Kekulé em 1800. Kekulé conhecia dados empíricos do benzeno. Seguindo os métodos dos químicos do seu tempo, ele tentou organizar os elementos numa seqüência linear, mas sem sucesso. Certa vez, ele voltou para casa cansado da pesquisa e assentando-se defronte à lareira, começou a dormir e sonhou: em sua mente os elementos do benzeno apareceram, começaram a dançar, transformados em cobras. Uma dessas cobras picou a si própria na cauda, formando, dessa maneira, um círculo.

⁶ Ver Lektorski (1995).

Assim, Kekulé acordou com a idéia de organizar os elementos do benzeno como um círculo e trabalhou a noite toda pra resolver sua idéia criativa. Para o autor, uma imagem é um meio produtivo para construir conhecimento. Essa imagem de uma cobra picando a si mesma na cauda é um símbolo antigo da alquimia, utilizado na integração de contradições profundas como macho/fêmea, fluido/estável, etc. Símbolos são meios especiais, já que estão na fronteira entre consciência e inconsciência. Kekulé⁷ disse para seus colegas, ao final de um relato sobre sua descoberta num congresso de química na Alemanha em 1846: *"Aprendam a sonhar, cavalheiros."*

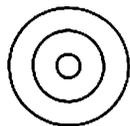
Existe uma disciplina especial, a heurística, que pesquisa a forma como se dão as descobertas e invenções nas artes, ciências e tecnologias. Através de estudos de caso, pode-se mostrar que imagens são meios básicos para a construção de conhecimento. Alguns exemplos adicionais são: os primeiros astrônomos usaram o círculo como meio para a construção de sistemas de planetas, Watson & Crick organizaram, através de uma espiral como meio, a estrutura do DNA; o biólogo Nägeli escolheu a analogia com a estrutura de uma parede para construir sua Teoria Micelar e o químico Hermann Staudinger pensou que macromoléculas eram organizadas como elementos de um jogo de varetas.

Assim, não é surpreendente quando Albert Einstein diz:

"Meu poder e minha capacidade estão fundamentados numa percepção imaginativa e na transformação de 'insights' científicos, conseqüências e possibilidades. Operações matemáticas para mim não são um trabalho fácil e eu as faço sem grande prazer e muito lentamente."

⁷ Para mais informações sobre a invenção de Kekulé, consulte: www.education.eth.net/ecads/chemistry/carbon_bonds-II.htm

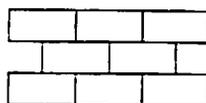
Figura 2 - Imagens como construção do conhecimento



Os primeiros astrônomos organizaram os sistemas de planetas, através de círculos



Ao desenvolver a concepção macromolecular, Hermann Staudinger pensou nas peças de um jogo de varetas



Ao desenvolver a teoria micelar, o biólogo Nägeli pensou na estrutura de uma parede

Na seqüência, será mostrado que certas imagens são meios fundamentais para construções do conhecimento de uma época inteira do pensamento humano. As orientações para essa hipótese derivam, por um lado, de filósofos russos e do teórico de sistemas, G.E. Judin. Para ele, os seres humanos organizam seu pensamento com *abstrações de limite*, que são os meios mais fundamentais, já que, por detrás deles, não há outras explicações. Judin distingue três dessas abstrações: *cosmos* para os antigos, *natureza* nos tempos modernos e *atividade (humana)*, introduzida pela filosofia alemã por volta de 1800, para levar a atividade cognitiva até o ponto onde os seres humanos sejam (co)criadores do mundo.

Uma orientação ulterior veio da pesquisa de Paul Thagard sobre *revoluções conceituais*. Para ele, revoluções no desenvolvimento do conhecimento estão alicerçadas na mudança de concepções fundamentais. Eis alguns exemplos: o conceito de *seleção natural* de Darwin elimina o conceito de *criação divina das espécies*; o conceito de *oxigênio* de Lavoisier elimina o conceito de *flogisto* e o conceito de *invariância da velocidade da luz* de Einstein elimina o conceito de *éter*.⁸

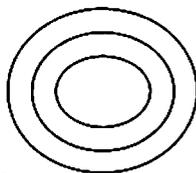
⁸ Ver Thagard (1992).

3.1 - CONHECIMENTO SOBRE O COSMOS: IMAGENS DO *CÍRCULO* E DA *BOLA* COMO SIGNIFICADOS FUNDAMENTAIS PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

Observando-se o conhecimento da Antigüidade até a Renascença, tanto como no início dos tempos modernos, constata-se uma grande quantidade de representações do conhecimento que baseadas no significado do *círculo* ou da *bola*. Estas imagens tinham significados muito populares nestes tempos, porque o interesse era organizar a complexidade total do mundo sob a forma de uma grande harmonia: tudo era visto como se estivesse relacionado a uma ordem bem organizada, estabelecida por Deus.

A princípio, o significado central era um *círculo*, já que a terra era vista como plana, constituindo-se, assim, uma unidade de conhecimento. Essa totalidade pode tornar-se cada vez mais complexa, expandindo-se círculos, passo a passo, em extensões cada vez maiores. Assim, toda ordem pode ser organizada a partir de uma grande complexidade, baseada, por exemplo, no princípio *do próximo para o mais distante*, incluindo-se aí a abóboda celeste como um abrigo. Dessa forma, sistemas estáticos foram construídos sem estarem vinculados ao aspecto *tempo*.

Figura 3 - Expansão do círculo



A construção do sistema de planetas através da imagem do *círculo*
Sistemas de conhecimento estático de ordem superior

Um grande passo ulterior no desenvolvimento desse tipo de construção do conhecimento pode ser lembrado pela observação dos planetas e de seus movimentos. Ao invés de sistemas estáticos, construções dinâmicas foram necessárias. Associado a estas últimas, houve um salto do *círculo* para a *bola*, já que a observação do movimento dos objetos no universo conduziu ao pensamento tridimensional. No começo, a terra era o centro do sistema de planetas, mas, posteriormente, fundamentado em observações mais intensas, a terra torna-se um elemento dentre outros do universo.

Círculos e sistemas (como bolas) podem ser expandidos não apenas para o exterior, mas também para o interior. A unidade em um círculo com expansão para o exterior foi denominado de *macrocosmos*, enquanto a de um círculo com implosão para o interior de *microcosmos*. Uma vez que existiu a idéia de que o mundo inteiro seria fundamentado numa grande ordem e harmonia (dada por Deus), era óbvio pensar que princípios macrocósmicos e microcósmicos fossem os mesmos. Logo, o cosmos torna-se o padrão de uma analogia: tudo era espelhado na ordem e na harmonia de Deus.

Algumas características básicas desse primeiro tipo de pensamento científico podem ser agora sumarizadas: (a) existe uma unidade inicial, básica; (b) essa unidade pode ser expandida para o exterior e para o interior; (c) todas as unidades estão em interação umas com as outras; (d) o alvo da integração é uma harmonia e ordem plenas.

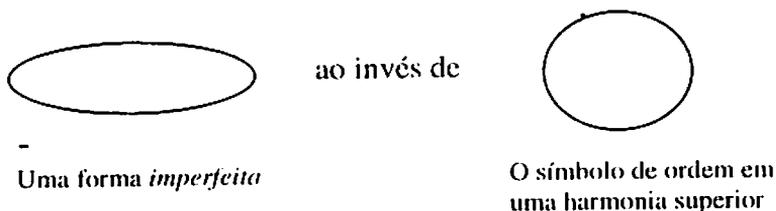
Este primeiro tipo de conhecimento está mais ou menos direcionado para o mundo conhecido. Até hoje, pensar na forma de um pensamento mágico, de um pensamento esotérico, do pensamento fantástico etc, é operar com círculos e bolas como meios. Estes são meios imaginativos para constituir unidades de conhecimento de forma especulativa; mas eles são também meios para os primeiros passos do pensamento científico. Aqui também emerge a necessidade de se constituírem, primeiro, unidades e, depois, de se produzir uma complexidade superior, através da expansão de unidades para o interior por *diferenciações* (isto é, determinados partes, subsistemas, elementos etc) e por *integração* (ou seja, construindo interações com o mundo exterior). Por isso, este conhecimento sobre conhecimento pode ser usado para a análise e para a construção de um conhecimento próprio, baseado na auto-reflexão. Isso será relevante para o item 4

desse texto, onde possibilidades de produzir conhecimento em relação ao próprio conhecimento (metacognição) serão discutidas.

3.2 – CONHECIMENTOS SOBRE A NATUREZA: IMAGENS DA ÁRVORE E DA REDE COMO MEIOS FUNDAMENTAIS PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

A concepção do mundo a partir de círculos e bolas era mais ou menos especulativa e não estava profundamente conectada com observações e investigações empíricas. A princípio, Kepler (1571-1620) começou com essas formas de construção do sistema de planetas, mas depois veio a conhecer os dados empíricos produzidos por Tycho Brahe, que observou o movimento dos planetas. Do mesmo modo que Kekulé, Kepler também reconheceu que não havia uma correspondência precisa entre a imagem usada e os resultados da pesquisa empírica. Assim, ele mudou os meios, a imagem do *círculo*, e construiu um sistema no qual os planetas moviam-se em torno do sol, na forma de elipses.

Figura 4 - Troca de meios: *elipse* ao invés de *círculo*

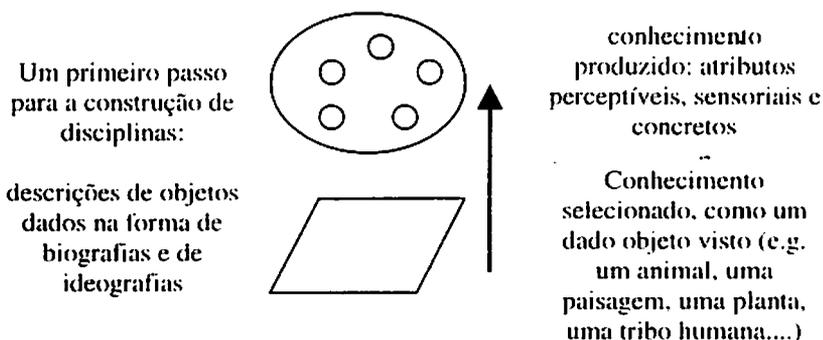


Essa mudança fundamental de Kepler, de um pensamento especulativo para uma pesquisa fundamentada em dados empíricos, é substancial para o começo das ciências modernas. Tal mudança estava conectada com muitos outros fatores como a descoberta de novos mundos, o desenvolvimento do avanço técnico do poder econômico. Em geral, houve a necessidade de se observar, mais intensivamente, a natureza imediata e não apenas o cosmos mais distante. Grande interesse e motivação aumentaram a observação e a descrição

cuidadosa de plantas, animais, paisagens, tribos humanas etc. Tais abordagens foram intituladas, por exemplo, como *história natural*.

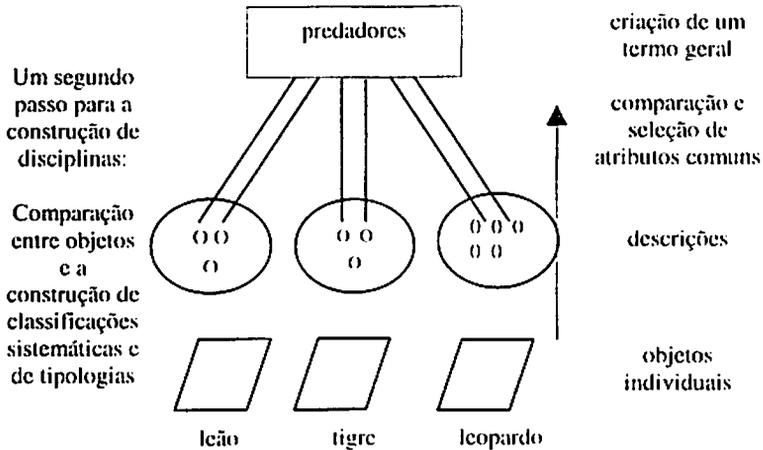
O primeiro passo nessas abordagens era descrever, exatamente, certos objetos individuais. Até onde fosse possível, tais objetos seriam modelados e exibidos em lugares especiais como museus de história natural. Todavia, eles eram mostrados, na medida do possível, em seu ambiente original. Quando fosse impossível transpor certas coisas (como uma paisagem) diretamente para um ambiente doméstico, imagens eram pintadas e/ou descrições eram feitas, lembrando mais textos literários do que científicos. Frequentemente, essas representações da natureza eram feitas através de uma cooperação entre cientistas e artistas, que faziam uso de biografias e de descrições ideográficas para modelar tais objetos. Todas essas atividades levavam à constituição de disciplinas como história natural, história paisagística ou história animal.

Figura 5 - Construção do conhecimento



O próximo passo no desenvolvimento do conhecimento científico foi estruturado com base em comparações entre objetos descobertos. Selecionando-se características comuns, tornou-se possível erigir termos gerais. Por exemplo, o traço comum entre um tigre, um leão e um leopardo deve ser representado pelo fato de serem animais que atacam e matam outros animais. Através do termo geral *predador*, podemos expressar este atributo que é comum aos três animais.

Figura 6 - Etapas da classificação



Com esses termos gerais obtiveram-se meios para a construção de classificações sistemáticas e de tipologias. Para representar esse conhecimento, a imagem de uma *árvore* foi usada. Inicialmente, árvores eram realmente pintadas; mais tarde, somente a sua forma abstrata era usada.

Figura 7 - Árvore abstrata



A árvore concreta como meio para os primeiros tipos de classificação

Assim, não era um problema a aproximação à forma de uma árvore e, por essa razão, a sua imagem tornou-se cada vez mais exterior à compreensão e apenas uma forma abstrata permaneceu. Fundamentando-se nessas atividades, disciplinas como a história natural, história da paisagem etc. expandiram-se para abordagens independentes e especiais, como a história natural, comparada à história da paisagem. Por ser o conhecimento desenvolvido cada vez mais direcionado de um objeto individual (e.g. uma paisagem) para objetos em geral (e.g. tipos de paisagem), essas abordagens foram também denominadas *geografia geral* ou *biologia geral*.

Figura 8 - Classificação hierarquizada

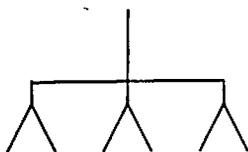
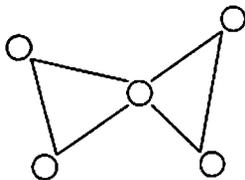


Imagem de uma classificação moderna hierarquizada: apenas uma pequena lembrança de uma árvore

A forma de uma árvore provoca a idéia de uma hierarquia: iniciando-se pela formação de raízes como a base, a complexidade aumenta pela expansão crescente de ramos. Entretanto, ao construir sistemas, tipologias e classificações, os pesquisadores desenvolvem cada vez mais experiências de que existem elementos individuais (como um animal, uma paisagem ou uma tribo humana) que se combinam de muitas maneiras diferentes. Todavia, quanto mais os elementos individuais são vistos como independentes, tanto mais a combinação em forma de hierarquia é reconhecível como uma única possibilidade. Numa construção mais *democrática*, os elementos são iguais e mais ou menos livres para recombinação. logo é óbvio usar-se, ao contrário da imagem *árvore*, a imagem *rede*.

Figura 9 - Configuração em rede



Uma rede: conexão mais *democrática*
entre elementos

Além do mais, a introdução da imagem de *rede* apresentou ainda uma outra razão importante: o uso do microscópio na biologia moderna, na física, na química etc. tornou possível aprofundar, cada vez mais, o conhecimento dos objetos e descobrir seus elementos básicos. Assim, de um lado, existiam certas relações entre esses elementos e, do outro, o pesquisador podia recombina-los de modo mais ou menos livre. Os elementos básicos podiam ainda ser, continuamente, (re)construídos pelo pesquisador, até o nível de elementos invisíveis em relação ao nível de elementos virtuais (na física, por exemplo), os quais não existem de fato, mas que são úteis como meios intermediários para reconhecer e criar estruturas. Até hoje, todavia, classificações, sistemas e tipologias são importantes meios para a construção do conhecimento.

3.3 – CONHECIMENTO SOBRE A ATIVIDADE HUMANA: A IMAGEM DO GERADOR, COMO UM MEIO FUNDAMENTAL.

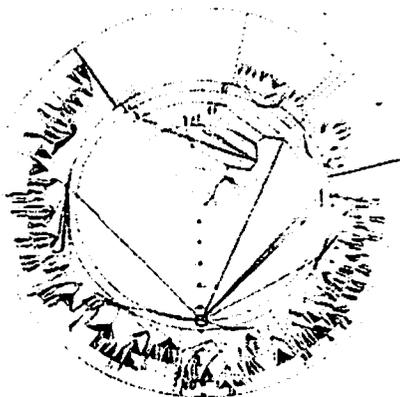
Reverendo a construção do conhecimento na história, Bernal (1971: 593) resume a biologia do seguinte modo:

“O século XVIII foi o século dos descobridores, dos colecionadores e dos classificadores. A idéia de classificação mostrou a necessidade prática de se ordenarem plantas em jardins botânicos e coleções em estantes e talvez, mais ainda, a urgência em compilar e imprimir catálogos. Naturalmente, cada colecionador e cada produtor de catálogos tinham suas próprias idéias sobre o agrupamento do seu material e o resultado era uma grande confusão de nomes e agrupamentos.”

Desse modo, torna-se cada vez mais evidente que o conhecimento não é apenas uma descrição e uma descoberta de uma dada realidade, mas uma invenção e uma criação humanas, isto é, um meio poderoso de transformação ativa do mundo. O *círculo* é um meio efetivo para integrar certo material e estabelecer unidades que podem ser expandidas para o exterior, através de uma integração com outras unidades, como para o interior, através da diferenciação. A *árvore* é principalmente um meio para ordenar unidades sob a forma de classificações, de sistematizações e de tipologias. A *rede* é especialmente requerida para representar elementos descobertos e as relações dadas ou possíveis entre eles.

De modo semelhante à imagem de um *círculo* ou de uma *bola*, como meio para constituir unidades, até hoje a imagem de uma *árvore* ou a de uma *rede* são necessárias, como meios para representar uma ordem ou uma coleção de elementos e de dados. Já que hoje a complexidade dos dados empíricos é crescente, a ajuda de computadores torna-se necessária na geração de tais redes. O computador, no entanto, não pode apenas representar os elementos e os dados, ele deve nos oferecer também ferramentas para desenhar essas árvores, de forma expandida. Um exemplo não é apenas a integração de uma pluralidade de redes numa totalidade, mas também é necessário projetar a imagem como um círculo num plano.⁹

Figura 10 - Integração de redes

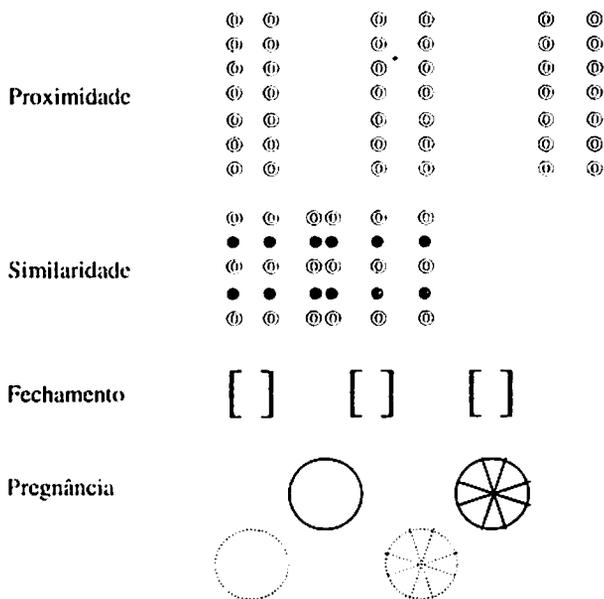


⁹ Para mais informações, consulte: www.cybergeography.org/atlas/atlas.html/

A própria imagem dessas redes integradas conduz, crescentemente, a uma visão de dados representados como *texturas*, um conjunto de pontos. Texturas podem ser definidas como conjuntos de pontos nos quais não existem mais relações entre elementos, mas componentes livremente recombináveis. Esta transição de estruturas para texturas não é apenas causada pela visualização de dados. De um lado, a pesquisa avança cada vez mais profundamente na matéria, até alcançar elementos invisíveis e/ou imateriais; de outro, texturas podem ser geradas pelo computador, sem serem representações de substâncias e da matéria, mas pontos abstratos que apenas representam a si próprios. Esses elementos abstratos podem também ser vistos como os mais concretos, já que nada representam, a não ser eles mesmos.

Operações com texturas, como sistemas sintáticos puros, fazem necessário o desenvolvimento de uma teoria sobre a alocação de pontos. Basicamente, para tal teoria as categorias são aquelas para as quais as alocações podem ser descritas na forma de: parte/ todo, ordem/ caos, concentração/ dispersão, interior/ exterior, simplicidade/ complexidade etc.

Figura 11 - Categorias para análise e construção de alocação de pontos em texturas



Essas categorias são meios básicos para sistemas de pensamento. Uma abordagem moderna de um sistema de pensamento é a *Teoria de Sistemas Dinâmicos* ou a *Teoria Sistêmica da Evolução*. O computador é um instrumento indispensável para operar com sistemas dinâmicos ou evolucionistas, porque pode comandar grande parte da complexidade que está aquém das possibilidades e da capacidade do homem. Sistemas dinâmicos gerados por computador são bem conhecidos até na vida diária, sob a forma de imagens fractais que fascinam, por exemplo, os leitores de jornais. Uma das características mais notáveis dessas imagens fractais é seu alto grau de organização. Em especial, obviamente, estão os centros descritos por uma teoria do sistema, como *gerador*, *atrator*, *ordenador*, *organizador* etc. Esses centros constituem uma razão que justifica o fato de que tais sistemas têm capacidade de *auto-organização*, já que os pontos são atraídos por esses centros ou são gerados a partir deles.¹⁰

Figura 12 - Pontos atraídos ou gerados a partir de um núcleo



A auto-organização de sistemas dinâmicos e evolucionistas pode evocar um sentimento de alienação para os homens, porque eles estão fora desses processos e são por eles determinados, não podendo olhar para si mesmos como sistemas auto-organizáveis. Existe, todavia, uma diferença fundamental entre sistemas auto-organizáveis e a atividade humana: o homem não é um autômato formal que cria complexidade,

¹⁰ Ver Jantsch (1979).

mas um sujeito que dá significado ao mundo. Além do mais, ele está apto a projetar sua própria atividade em atos de *auto-atividade*.

Ao pensar sobre esse fato, pode-se ter uma visão reflexiva sobre o desenvolvimento da concepção de *atividade* em filosofia. Como ponto de partida, pode ser observado o reconhecimento, na Renascença, de que o mundo não é (apenas) dado, mas também construído pelo homem. A justificativa para essas considerações representa o grande progresso e o sucesso que o homem obteve em muitas áreas, como as técnicas, as ciências, as artes e a economia, etc. Em 1710, o filósofo Giambattista Vico focalizou esse reconhecimento na sentença *Verum ipsum factum* (O verdadeiro é o próprio fato) e argumentou:

“Precisamente pelo fato de a verdade de Deus ser o que Deus reconhece, agrupando (coisas) e criando-as, então, a verdade do homem é o que o homem reconhece, construindo coisas ao agir e formando-as ao desempenhar uma ação. Por isso, a ciência é o conhecimento da origem do modo através do qual as coisas são construídas.” (Vico, 1710: 5-6).

Essas idéias foram desenvolvidas mais tarde por filósofos como Kant, Hegel, Fichte e Schelling no idealismo alemão e no materialismo dialético por Marx. O homem foi visto cada vez mais como o (possível) gerador da evolução do mundo. Esse gerador, todavia, não era apenas um autômato, na forma de uma equação, que gera, com o auxílio de um computador, um conjunto complexo de pontos. Ele é um sujeito que não é somente capaz de atribuir significação ao mundo, mas também de refletir sobre sua atividade criativa em atos de auto-reflexão. Assim, os filósofos germânicos transpuseram mais tarde a concepção de *atividade* para a de *auto-atividade*. Nesta, o sujeito não é apenas algo, fazendo a si próprio; ele constrói sua subjetividade, seu interior e não somente o mundo exterior, cria a si mesmo com uma personalidade própria, com uma identidade ou com uma individualidade. E, como cada ser humano é original e único, a auto-atividade está orientada para a *criação do novo*.

4. AUTO-ATIVIDADE FUNDAMENTADA NO CONHECIMENTO E CONHECIMENTO SOBRE O PRÓPRIO CONHECIMENTO.

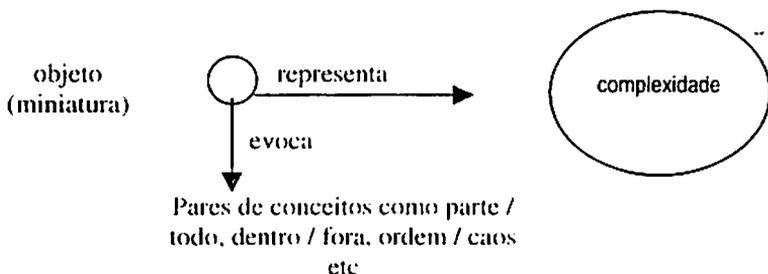
De forma irônica, um poeta alemão da última década do romantismo, Heinrich Heine, descreveu uma tendência e uma característica alemã especial para elaborar altas especulações filosóficas: "*A terra pertence aos franceses e aos russos, o oceano pertence aos britânicos, nós, alemães, temos – indiscutivelmente – o controle sobre o ar*". Logo, surge a questão: quais são as conseqüências práticas e eficiências de tal concepção altamente abstrata de *atividade* em relação à *auto-atividade* ?

Auto-atividade não era apenas uma concepção básica de filosofia, mas tornou-se ainda de importância fundamental para a reforma do sistema educacional na Alemanha, por volta de 1800. Essa reforma educacional pode ser vista como uma revolução no pensamento educacional: o objetivo central da educação era não mais a reprodução de um dado conhecimento, mas a criação da própria personalidade. Por ser a própria personalidade sempre única e original, o objetivo principal da educação era a *criação do novo*.

Os filósofos do idealismo alemão haviam definido que a auto-atividade só pode ser estimulada e sustentada pela possibilidade de uma liberdade ampla para o sujeito. Assim, um paradoxo educacional surgiu: *como pode ser possível ordenar que alguém seja livre?* O educador Adolf Diesterweg teve uma idéia criativa: ele queria dispor de uma homeopatia *que nos ensinasse como podíamos dar uma pequena dose de conhecimento a um aprendiz que tivesse um efeito alto*. Enquanto uma transformação para a prática, tal idéia heurística pode ser vista como a concepção de uma Educação Elementar para Friedrich Fröbel. Procurando o primeiro objeto da aprendizagem, ele decidiu sobre uma *bola* (lembre-se da descrição anterior sobre o ponto de partida para a produção do conhecimento, usando círculos e bolas como símbolos para uma perfeita harmonia!): brincando com uma bola, um ser humano pode fazer experiências básicas com o mundo, fundamentadas em contradições dialéticas. Assim, a bola é uma totalidade, mas, ao mesmo tempo, ela é uma parte do universo. O homem está fora da bola, mas a bola possui um interior velado. Quando a bola está em nossas mãos, existe uma *unidade*, porém, no momento seguinte, pode haver uma *separação*, quando a bola estiver rolando para longe.

Assim, a bola pode ser considerada como um objeto na extensão de uma *miniatura*. Essa miniatura evoca *categorias* básicas que estão conectadas sob a forma de pares de conceito. Essa abordagem educacional foi denominada *educação categorial*. O objeto em forma de uma miniatura e os meios ideais em forma de pares de conceitos podem ser vistos como um gerador de produção de conhecimento. Uma vez que ambos (objeto e meios) são a *célula germe* ou o *núcleo* da produção do conhecimento, deve ser designado como um *heurema epistemológico* (epistemologia = teoria filosófica do conhecimento – heurema = uma construção seguindo o termo *morfema* e equivalente ao menor elementos da associação lingüística + heurística).

Figura 13 - Construção de heuremas



Como a *Teoria da Educação Categorial* (Klafik, 1996) pode ser tornada relevante, frutífera e produtiva para a interdisciplinaridade (interação de cientistas de diferentes disciplinas) e para a transdisciplinaridade (interação de cientistas e cidadãos)? A *Teoria da Educação Categorial* está fundamentada na concepção de auto-atividade, que está direcionada para a criação do novo. No entanto, também as atividades inter e transdisciplinares estão direcionadas para a criação do novo, integrando conhecimentos de diferentes disciplinas, bem como teorias científicas e práticas sociais. Desse modo, há um problema comum: a auto-atividade pode ser um ponto de partida atraente ou um gerador para funcionar nesses problemas, por ser um denominador comum no sentido de que todas as atividades nas ciências, nas artes, na tecnologia e na vida cotidiana têm suas raízes e origem na atividade de sujeitos ou – quando os sujeitos refletem sobre

sua própria atividade – na auto-atividade. Como a auto-atividade pode ser provocada de modo tal a focalizar a auto-produção do conhecimento?¹¹

Aqui não é o espaço para apresentar todas as razões que justifiquem o trabalho de pesquisa feito com estudantes da Universidade de Hamburgo. Somente o procedimento será descrito para dar uma orientação para discussões e para experimentos próprios. A Teoria da Educação Categorical pretende estimular a auto-atividade por meio de um objeto selecionado cuidadosamente (até onde for possível na forma de uma miniatura) e que sirva para evocar categorias básicas.

Neste caso, cada estudante portava um pequeno espelho e a tarefa era escrever sobre o tema *Eu e meu conhecimento*. O espelho¹² permite os participantes da pesquisa observarem a si mesmos e provoca a contradição de Eu (como uma totalidade complexa) e Me (como uma parte na forma de auto-imagem exterior no espelho). Dessa forma, um campo de tensão é estabelecido, o qual pode ser desdobrado numa seqüência de passos. O primeiro é o extrato de uma auto-tematização de um estudante:

“Olhando no espelho, eu descubro que minha face tem muitas faces, eu devo apenas mover o nariz e tudo será mudado e destruído.

Eu preciso de muito mais conhecimento, mas eu estou com fome de conhecimento, eu estou procurando mais. Às vezes, eu me torno agressivo, quando esqueço muitas coisas tão rapidamente. É a minha imagem no espelho compatível com aquela que estou sentido internamente? Às vezes, fico espantado por constatar que a estou sentido. Mas sou o único que pode decidir se o meu exterior ou interior é compatível. A partir do que estou sentido e vendo tudo é compatível; de certa forma, é difícil descreve-me a mim mesmo”

Este primeiro passo é fortemente formado pela subjetividade e tem, como resultado, uma complexidade mais ou menos não-estruturada. Para desenvolver a auto-tematização, usa-se o software ATLASTi¹³ com o objetivo de digitar os textos e tornar possível uma análise de

¹¹ Ver Walgenbach (1996).

¹² Ver Marone (2001).

¹³ www.atlasti.de/

conteúdo com ajuda de um computador. Os participantes marcam certas partes dos textos e criam categorias/códigos para caracterizar a passagem selecionada (por exemplo, tipos de conhecimento tematizados como: conhecimento científico, conhecimento tácito, conhecimento pessoal, conhecimento corporal etc.). Na próxima etapa, essas categorias são usadas como elementos para a construção de redes semânticas. Desse modo, os participantes tornam o seu próprio conhecimento visível e se distanciam da sua auto-expressão. Essa análise de conteúdo e a construção de redes semânticas são também construídas para os parceiros. Intercambiando os resultados uns com os outros, uma pesquisa dialógica se inicia e nela a subjetividade é cada vez mais enriquecida pela objetividade. Para intensificar a objetivação e para aumentar a complexidade de *conhecimento sobre conhecimento*, os participantes são confrontados com abordagens científicas, concepções, teorias, modelos etc. sobre o conhecimento. Nesta etapa, inclui-se ainda o trabalho com sistemas de interação multimídia, nos quais um processo de desenvolvimento do conhecimento é representado sob a forma *do concreto para o abstrato e de volta para o concreto*. Por estar a concepção desse sistema multimídia orientada para as ciências, fundamentadas em um padrão ocidental de pensamento, os participantes dispõem da possibilidade de comparar sua própria pesquisa com a de grupos similares, pertencentes a outras culturas (no caso de estudantes da Universidade de Hamburgo, os estudos interculturais foram realizados em conjunto com um grupo de estudantes latino-americanos).

5. OBSERVAÇÕES CONCLUSIVAS: A RELEVÂNCIA DO CONHECIMENTO SOBRE CONHECIMENTO PARA AS ATIVIDADES INTER E TRANSDISCIPLINARES.

A pesquisa acima descrita está fundamentada na Teoria da Educação Categrorial, assumindo a *auto-atividade* como concepção central. Assim, o ponto de partida é a subjetividade individual. Os sujeitos produzem a sua própria subjetividade, mas não isoladamente; eles agem em conjunto, no interior de grupos experimentais. Tais grupos podem também ser constituídos não apenas por estudantes, mas ainda por pesquisadores de diferentes disciplinas e por cidadãos que têm interesses comuns e/ou problemas em conexão, por exemplo, com o meio-ambiente local. Por isso, um grupo experimental transdisciplinar

pode ser constituído pelo objetivo comum de traçar cenários de um futuro possível (*utopias concretas*) para o seu meio-ambiente. De início, esse grupo deve ser bastante heterogêneo: devem existir pesquisadores de diferentes disciplinas, estudantes orientados para as ciências e cidadãos que estiveram, no passado, mais ou menos aliados de áreas nas quais o conhecimento tenha sido altamente desenvolvido.¹⁴

Na auto-tematização, eles podem expressar sua visão do próprio conhecimento. Nos processos de pesquisa dialógica, um intercâmbio de *conhecimento sobre o conhecimento* pode ser realizado. Os resultados podem ser utilizados como meios para traçar cenários comuns de futuros possíveis para o meio-ambiente local ou regional, onde todos devem viver. Trata-se de um processo de produção do *conhecimento sobre conhecimento* com pouco amplitude, cara e extravagante ?

Pesquisas empíricas, avaliações das práticas científicas e sistemas sociais, em geral, mostram, claramente, que a ausência de conhecimento comum é um grande *handicap* para o desenvolvimento social. As concepções para a solução de problemas complexos (direcionados, por exemplo, para o *desenvolvimento sustentável*) falham, porque há grandes deficiências no trabalho interdisciplinar de cientistas, na cooperação transdisciplinar entre pesquisadores e cidadãos, na ciência da educação (em estudos internacionais, verificou-se que cerca de 70 a 90% da população não possui qualquer conhecimento de física) etc. Em especial, as imagens profundas e mais inconscientes podem representar um obstáculo difícil para a comunicação, bem como para a relação entre sujeitos, entre grupos sociais e até mesmo entre nações. O propósito aqui é dar ao indivíduo a oportunidade de tornar-se consciente sobre si mesmo, no contexto de grupos experimentais transdisciplinares. Para estes, um estímulo e a assistência sobre os meios de auto-atividade para produzir conhecimento precisam ser construídos; o que, por um lado, liberta os indivíduos para a criação do novo. Por outro lado, as tradições e as experiências das sociedades, como o conhecimento produzido nas disciplinas científicas, devem ser preservadas. Os meios que servem a esses critérios contraditórios – abertura e fechamento ao mesmo tempo – são heurísticos. As orientações para a construção desses

¹⁴ Ver Walgenbach, Martins & Barbosa (2000).

meios heurísticos podem ser alcançadas pela reconstrução de atos criativos nas ciências, nas artes e nas tecnologias.

Uma característica central desses meios implica que eles estejam enraizados em imagens, as quais são mais ou menos intuitivas e implícitas. Sua explicitação torna-se viável através da produção de *conhecimento sobre conhecimento* e, apenas assim, o seu uso pode ser controlado e melhorado. Indicar ao menos o alcance desse problema exemplar, destacado pela filosofia alemã, é tentar desenvolver um sistema complexo e extensivo, mais ou menos completo e abrangente a partir de certos núcleos, no caso de Hegel e Marx e a partir da categoria *trabalho/atividade*. Dessa maneira, também Beethoven desdobra, na sua V Sinfonia, um enorme trabalho artístico, a partir de um pequeno motivo (*tatataaa*), como ainda Goethe que descreve uma estratégia similar para seu pensamento e suas ações.

Essa estratégia parece ser muito produtiva no desenvolvimento de sistemas inter- e transdisciplinares, por tornar possível a integração de conhecimentos não apenas por uma soma de suas partes, mas ainda a partir de um gerador integrativo. Todavia, compreender é também ver o perigo que se conecta a essa estratégia: o sujeito constrói um sistema e subsume, sob sua totalidade, todas as coisas, o mundo todo (incluindo outras culturas).¹⁵

É essa exatamente a crítica dos filósofos franceses depois da segunda guerra mundial. Eles argumentam contra esse fato, fundamentando-se nesse tipo de pensamento filosófico alemão megalômico que construiu sistemas totalitários, assim como o marxismo e o socialismo-nacional, com todas as suas conseqüências terríveis, como o genocídio nos campos de concentração e as relações da política ditatorial. Contrária a essas idéias megalômanas, a filosofia francesa propagou as idéias de descentralização, pluralismo, relativismo, desconstrutivismo, evitando, assim, as “grandes narrações” (como o populismo?).

Tradução da versão inglesa: Hugo Mari

¹⁵ Ver Walgenbach (1999).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNAL, J. D. *Science in history*. Massachusetts: MIT Press, 1971.

JANTSCH, E. *The self-organizing universe: scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*. Oxford: Pergamon Press, 1979.

KLAFKI, W. Educação categorial. In: *Ambiente & Educação*, n. 1:75-92. UFRG, 1996.

LETKTOSKE, V. A. *The problem of subject and object in classical and modern bourgeois philosophy*. Moscow: 1965.

MARONE, N. R. C. Espelho: experimento educacional com possibilidade para a formação de professores. In: *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*. UFRG, 2001.

THAGARD, P. *Conceptual revolution*. Princeton, 1992.

WALGENBACH, W. Conceitos básicos da educação ambiental do ponto de vista da teoria da educação categorial. In: *Ambiente & Educação*, n. 1:47-72. UFRG, 1996.

_____, MARTINS, R. P., BARBOSA, F. A. R. Modos operativos de integração interdisciplinar nas ciências ambientais. In: TUCCI, M. et alii. (Eds.) *Interdisciplinaridade em ciências ambientais*. PNUMA/ORPALC: Rede de formação ambiental. 5. Brasília: 2000.

CATEGORIZAÇÃO

Hugo Mari
UFMG

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Definir ou descrever qualquer objeto¹ pode representar um desafio árduo, indiferentemente da circunstância em que se situam os observadores da cena ou da natureza dos objetos que compõem a cena. As dificuldades inerentes ao processo de descrição podem crescer ou decrescer em razão do grau de imbricação, de comprometimento a que observador e objeto observado se submetem: quanto maior a empatia, tanto maior deverá ser a probabilidade de o observador prover informações. Não se trata, todavia, de um padrão linear de

¹ Estamos usando o tempo *objeto* em sentido amplo, incluindo fatos, ações etc.

previsibilidade: a empatia fortuita, que podemos manifestar sobre um objeto social como um *outdoor*, não implica que estejamos aptos ao provimento de informações sobre a arquitetura de imagens, de cores, de espaço etc ali presentes. A empatia, em relação a objetos dispostos na bancada de um laboratório, gera sobre o especialista a expectativa na revelação de detalhes dos objetos a serem observados. Muitas das dificuldades de explicitação desse processo de cognição resultam ainda da nossa incapacidade de demonstrar o que sentimos² e de representá-lo em algum padrão racional.

Por outro lado, ainda que o estágio de sensação-percepção de um objeto possa ter um caráter de imediatez – quando abrimos os olhos, captamos algo, quando tocamos uma superfície, sentimos algo –, estamos longe de determinar o que, de fato, realizamos, quando exercemos o domínio de compreensão sobre algo que captamos, ou sentimos. Muitos procedimentos de qualificação diferentes, muitos termos com recortes distintos foram usados para caracterizar o processo que compreende a sensação primária de um objeto e a sua representação conceitual. Na presente reflexão, pretendo destacar um desses momentos – a categorização –, avaliando a sua importância em alguns estágios da nossa atividade de conhecer. O que é, afinal, categorização?

2. CONCEITO DE CATEGORIZAÇÃO

Definir ou conceituar, como já mencionamos, é uma tarefa difícil em qualquer circunstância: tanto objetos desenhados para executar tarefas simples, como aqueles que apresentam uma engenharia elaborada costumam nos embarçar na mesma proporção, quando o objetivo é defini-los. Uma definição *lato sensu* é a explicitação do ponto de vista de um observador sobre um objeto observado³; daí a idéia de que a

² Estamos usando o verbo sentir, na presente abordagem, com o valor de ter sensação.

³ Devemos excluir dessa formulação aquilo que se faz representar por uma definição *ostensiva*, isto é, aquela que não descreve um objeto, mas aponta-o, nomeando: *Isso é uma caneta* (mostrando o objeto da espécie). Tal definição é precisa, mas exhibe padrões cognitivos limitados, já que nada nos informa sobre a natureza do objeto que é apontado. A sua eficácia se prende mais ao

variabilidade do primeiro deva produzir instabilidades na concepção do segundo. O fato de a instabilidade de uma definição associar-se às circunstâncias de tempo, de espaço e do lugar social de onde é produzida costuma ser usado como um argumento contra o conceito tradicional de definições analíticas, aquelas que prescindem desses fatores de determinação, supondo ser o definidor uma espécie de emanção natural do objeto definido. Se aceitarmos esse entendimento genérico sobre uma definição, precisamos de um esforço racional, para mostrar como e a partir de que padrões devem ser estruturados quaisquer pontos de vista, assumidos sobre um objeto. Afinal, pontos de vista são mais do que mera intuição e precisam ser justificados e fundamentados em algum padrão categorial⁴.

Numa dimensão interativa, definir é a forma que um observador, por deter certo domínio conceitual sobre uma classe de objetos, utiliza para interagir com outro observador, desprovido desse domínio ou dotado de um outro domínio. Por essa razão, definições quase sempre emergem de indagações do tipo *o que é x?*, *como funciona x?* e de tantos outros formatos, situados no imaginário de um dos interlocutores. Embora esquematizáveis em padrões genéricos, perguntas não guardam as mesmas chances de respostas. Se nos dirigimos agora ao leitor deste texto, perguntando *qual o seu nome ?*, *onde você mora ?*, *onde você nasceu ?*, podemos obter respostas diretas como *Pedro, na Pampulha, em Belo Horizonte*. Se perguntamos, por outro lado, *o que é categorização ?*, não vamos obter uma resposta direta, de imediato, ainda que o nosso interlocutor seja um especialista. É mais provável que ele precise recorrer a uma teoria⁵, ou que construa um esboço de teoria sobre categorias para poder explicar o que seja *categorização*. Esse procedimento é comum no universo das definições teóricas: para a maioria dos nossos objetos de estudo erigimos teorias para definir, minimamente, o que possam representar. Quantas teorias, por exemplo, não foram construídas para

fato de funcionar como *cerimônia de batismo* para um objeto, ou seja, a circunstância através da qual aprendemos a designar um objeto.

⁴ Podemos recorrer ao texto de Walgenbach (2002), neste livro, dizendo que a utilização de *círculos, bolas, árvores e redes* representa padrões abstratos para a concepção racional de objetos.

⁵ Para uma discussão do conceito de *teoria*, veja Martins (2002), neste livro.

responder à questão *o que é vida?* Cada uma delas é um ponto de vista assumido para vida.⁶ Passemos, então, à *categorização*.

Uma forma genérica de sua compreensão podemos detectar em Lakoff (1987: 353): "*Categorization is a form of reason*"⁷. A afirmação ainda é ampla demais, mas já nos orienta para compreender um certo campo onde interfere a categorização, isto é, nos processos de raciocínio. Já que essa afirmação pressupõe a existência de outros processos, é importante determinar o alcance que se deve conferir à categorização e o que a faz diferente de outros processos. Extraímos de Lakoff (1987: 5-6) uma outra formulação a esse propósito:

*"There is nothing more basic than categorization to our thought, perception, action, and speech. Every time we see something as a kind of thing, for example, a tree, we are categorizing. Whenever we reason about kinds of things - chairs, nations, illnesses, emotions, any kind of thing at all - we are employing categories. Whenever we intentionally perform any kind of action, say something as mundane as writing with a pencil, hammering with a hammer, or ironing clothes, we are using categories. The particular action we perform on that occasion is a kind of motor activity that is in a particular category of motor actions."*⁸

- ↳ Se o papel que a categorização desempenha no raciocínio é válido, podemos pensar o seu desdobramento enquanto princípios que sejam capazes de estruturar "...our thought, perception, action, and speech...". Não há, por assim dizer, quaisquer aspectos da nossa capacidade de racionalizar (incluindo aqui emoções) que escapem à categorização; das tarefas mais banais, mas necessárias à

⁶ Veja, neste volume, uma ampla discussão sobre o conceito de *vida* em Guimarães (2002), neste livro.

⁷ "*Categorização é uma forma de raciocínio*" (tradução livre)

⁸ "*Não existe nada mais fundamental para o pensamento, a percepção, a ação e a fala do que a categorização. Toda vez que vemos algo como uma espécie de coisa, por exemplo, uma árvore, estamos categorizando. Sempre que raciocinamos sobre espécie de coisas - cadeiras, nações, doenças, emoções, enfim qualquer tipo de coisa -, estamos empregando categorias. Sempre que, intencionalmente, realizamos algum tipo de ação, isto é, algo comum como escrever com um lápis, martelar, ou passar roupas, estamos usando categorias. A ação particular que executamos em cada uma dessas ocasiões é um tipo de atividade motora que pertence a uma classe particular de categorias de ação motora.*" (tradução livre)

sobrevivência diária, às mais sofisticadas, destinadas a construir teorias, por exemplo, submetemo-nos a ela, enquanto princípio de racionalização”. Categorizar é um procedimento eficaz de que dispomos para ordenar o nosso comportamento: sem ele seríamos incapazes de identificar quaisquer repetições, quaisquer regularidades estruturais ou funcionais e a nossa existência se tornaria uma sucessividade de atos desconexos. Sem a capacidade de categorizar, a percepção de uma paisagem florestal, por exemplo, seria desprovida de quaisquer discriminações sobre seus componentes. Ao contrário, para percebê-la acionamos categorizações cromáticas (para reconhecer tonalidades de folhas, flores...) quantitativas (para classificar o tamanho de árvores, de folhas, a predominância de tipos...) qualitativas (para separar tronco de galho, flor de folha...) espaciais (para reconhecer o que está na frente, à esquerda, no meio, perto, longe...) e muitos outros parâmetros categoriais, dependendo do nosso ângulo de observação, do nosso interesse pela paisagem. Impossibilitados pelo olho de operar com esses padrões de categorização, não seríamos capazes do reconhecimento de qualquer paisagem. Enfim, estamos tão absorvidos pela categorização que, culturalmente, teríamos dificuldades em formular o que seria a percepção dessa paisagem sem categorias: um borrão esverdeado ? uma imagem desfocada em matizes de verde e cinza ? Mas isso já não seria alguma forma de categorização ?

Outro aspecto que é importante destacar, na citação do autor, é o operador “*a kind of*” – traduzido aqui por “um tipo de” - que funciona como um filtro para a categorização. Uma compreensão formulada a partir desse operador produz sobre a categorização dois efeitos distintos: um efeito de diferença e um efeito de semelhança. Quando já conhecemos um objeto *x* e reafirmamos para o nosso interlocutor que “*x é um tipo de y*”, não apenas constatamos uma semelhança entre *x* e *y*, como ainda demarcamos uma diferença entre eles. Se reconhecemos, ao mesmo tempo nessa relação, semelhança e diferença, devemos, de fato, recorrer a um operador como *um tipo de*, pois ele assegura, no processo de categorização, não se tratar da identidade entre dois objetos. Dizer, então, que “*x é um tipo de inseto*” é reconhecer em *x* componentes, traços que nos permitem inseri-lo na classe dos *insetos*, mas é também uma condição para resguardá-lo

⁹ Para uma compreensão de modelos de construção teórica mais sofisticados e complexos, veja o capítulo Universo (Oliveira, 2002), neste livro.

como um membro diferenciado no interior da classe. Por outro lado, quando categorizamos um objeto que não conhecemos, usando o mesmo operador, destacamos, no geral, uma contigüidade conceitual desse objeto com outros que já conhecemos, logo afirmar que "*x é um tipo de peixe*" é, pelo menos, assegurar *x* no domínio de *peixes*¹⁰.

Lakoff não admitiu explicitamente em sua citação, mas podemos assumir que "*é um tipo de*" concorre com um outro operador que também é importante no processo de categorização "*é um(a)*", em formas como "*x é um y*". Em muitas circunstâncias, vemos alternar o uso das duas formas, sem qualquer estranhamento – "*x é um inseto*", "*x é um peixe*". Resta saber, entretanto, se essa alternância, registrada na forma lingüística, traduz uma diferença no processo de cognição; "*x é um tipo de inseto*" (ou "*x é um tipo de peixe*") e "*x é um inseto*" (ou "*x é um peixe*") são padrões de categorização diferentes para *x*, ou mostram apenas representações diferentes para um mesmo processo ?

Sem aprofundar a problematização do texto, podemos assumir que uma resposta a essa questão precisa ser construída em duas orientações distintas: uma que se vincula à necessidade do reconhecimento prático de objetos que nos cercam; outra que se vincula à possibilidade de construção de teorias, de modelos, de classificações. Enquanto uma operação de categorização, as duas formas parecem apontar para um único efeito, seja o reconhecimento de *x* como membro de uma classe, seja o seu reconhecimento como membro de uma subclasse. Logo, a contraposição não está na natureza semântica dos operadores, mas no alcance categorial que lhes atribuímos = operando sobre classes (*peixe, inseto*) ou sobre subclasses (*acará, mosquito*).

Se o reconhecimento de diferenças para o elemento *y* da relação é evidente, já que *y* pode representar uma classe geral de objetos (*insetos, peixes*), ou uma sub-classe dessas classes (*mosquito e acará*), o uso de um e outro operador com elementos da subclasse, por exemplo, parece não produzir qualquer efeito de diferenciação

¹⁰ É claro que, na seqüência, podemos admitir que o uso desse operador já seja uma *desconfiança* lançada sobre suas diferenças em relação a outros membros da classe. É possível, todavia, que essa operação de reconhecimento de diferenças seja realizada em um tempo posterior ao de seu reconhecimento na classe.

relevante em termos de categorização. Assim, podemos ter “*x é um tipo de mosquito*” e “*y é um tipo de acará*”, ou alternativamente “*x é um mosquito*” e “*y é um acará*”, sem que diferenças sejam determinadas na percepção de cada um dos elementos. Entre cada um dos contrastes, marcado por operadores, se existe um efeito diferencial, ele representa apenas o fato de o operador “*um tipo de*” explicitar uma idéia partitiva da subclasse, enquanto “*um*” mantém essa partição implícita. Em resumo, embora as duas relações sejam usadas de modo indiferente, seja em categorização ordinária, seja em categorização metalingüística, a primeira – “*é um tipo de*” – parece assinalar uma distância maior com o protótipo da classe, enquanto “*é um*” assegura uma proximidade maior¹¹.

A questão do protótipo mantém relações diretas com os procedimentos de categorização. Em um outro texto, Lakoff (1972: 183-228) aponta uma série de operadores, a que denominou de *hedges*, por traduzirem uma forma genérica de categorização, mostrando, em muitos casos, distâncias diversas entre um membro que é classificado e o protótipo da classe. Afirmções como “*Num certo sentido, morcego é um pássaro*”, “*Caga-sebo é um tipo de sanhaço*” ou “*Tuim é um periquito*” produzem efeitos de categorização diferentes, por mostrar distâncias desproporcionais entre *morcego* e a classe de pássaros, entre *caga-sebo* e subclasse de sanhaços e entre *tuim* e a subclasse de periquitos. No primeiro caso, o operador “*num certo sentido*” assegura apenas uma pálida semelhança de *morcego* com a classe de pássaros, já que ele se mostra, por propriedades diversas, muito distante do protótipo da classe; no segundo, é possível que se vejam em *caga-sebo* propriedades (cores, tamanho, hábitos) que nos levem a aproximá-lo de um protótipo da subclasse de sanhaços; no terceiro, dispomos de um conjunto de propriedades maiores que nos levariam a aproximar, mais decisivamente, *tuim* de

¹¹ O conceito de *protótipo* de uma classe de objetos ainda é uma questão controversa e aberta. Para os objetivos dessa exposição, podemos reconhecer, no protótipo (que não é único para uma classe), aquele membro de reconhecimento mais imediato e que satisfaz, em geral, o conjunto das características que serve para definir a classe. Circunstâncias sócio-culturais específicas podem levar à determinação de protótipos diferenciados para uma mesma comunidade lingüística. Assim, é possível admitir que pardal seja um protótipo possível para a classe de pássaros, mas nunca podemos fazê-lo, desconhecendo circunstâncias culturais próprias, isto é, assumi-lo com alguma pretensão de universalismo.

periquito. Nos três casos, estamos diante de processos de categorização que guardam entre si distinções fundamentais em termos de compreensão.

A categorização, como se pode notar por esses breves comentários, é essencial a nossa atividade cognitiva e atravessa toda a compreensão dos fatos que nos cercam, conforme podemos constatar em outra citação de Lakoff (1987: 6)

*"Without the ability to categorize, we could not function at all, either in the physical world or in our social and intellectual lives. An understanding of how we categorize is central to any understanding of how we think and how we function, and therefore central to an understanding of what makes us human."*¹²

Por último, para fechar essa explanação sobre o conceito de categorização, podemos retomá-lo em duas dimensões que ficaram mais ou menos sobrepostas, ao longo dessa discussão. Assim, → categorizar é, no plano perceptivo, executar um conjunto de operações orgânicas (neurofisiológicas), capazes de possibilitar a compreensão de um dado objeto, de uma dada ação; no plano metalingüístico-representativo, categorizar é explicitar algum tipo de procedimento suficiente para justificar o que conhecemos – uma teoria, por exemplo.

3. CONDIÇÕES PARA CATEGORIZAÇÃO

Nas seções seguintes, vamos discutir algumas condições sob as quais o processo de categorização está submetido. Focalizaremos as condições que prevalecem sobre o percurso que vai da nossa exposição a um objeto até a sua forma de compreensão destacando dois intervalos, em particular, sensação-percepção e percepção-representação.

¹² *"Sem a habilidade para categorizar, não poderíamos funcionar completamente, seja no mundo físico, seja na vida social ou intelectual. A compreensão de como categorizamos é central para qualquer compreensão de como pensamos e de como funcionamos e, portanto, central para entender o que nos faz humanos.* (tradução livre)

3.1. DA SENSACÃO À PERCEPÇÃO

Ao caracterizar o processo primário que nos leva ao conhecimento de algo, Peirce (1980) aponta, como condição fundamental, o fato de tal processo operar sem qualquer auxílio a mediações, por exemplo, de uma teoria elementar, de definições, ou de qualquer elaboração representacional. Infere-se, desta formulação geral, que o nosso comportamento diante de algo a ser categorizado depende mais do modo pelo qual, através dos sentidos – o autor destaca, de modo especial, o olho -, nos expomos a ele, do que de qualquer procedimento reflexivo. Peirce define algumas condições iniciais para o funcionamento desse processo, afirmando, num apelo fenomenista, a necessidade de prevalecer “*o que está diante dos olhos*”, excluindo, por princípio, qualquer dimensão representativa e destacando um certo objetivismo que opera o fenômeno na forma “*como se apresenta*”. Aqui, cabem algumas questões iniciais para nos conduzir a uma compreensão mais ajustada desse processo primário. O que retemos deste contato incipiente de nossos sentidos (o olho, o ouvido, a mão...) com os fenômenos? Para que aspectos do fenômeno a nossa sensação se dirige no momento de sua apreensão?

Os caminhos apontados têm, certamente, um alcance amplo e ainda difuso..E, com certeza, não se pode supor um único padrão dentro do qual caberiam respostas apropriadas a essas questões. Vamos, então, recorrer a uma citação do autor (Peirce, 1980: 18) e analisá-la, para se ter um entendimento melhor de suas propostas:

“Em suma, qualquer qualidade de sensação, simples e positiva, preenche a nossa descrição daquilo que é tal como é, absolutamente sem relação com nenhuma outra coisa. ‘Qualidade de sensação’ é a verdadeira representante psíquica da primeira categoria do imediato em sua imediatidade, do presente em sua presentidade. (...)”

Aqui temos indicadores, na perspectiva do autor, que estariam, pois, na origem desta primeira experiência do saber. Segundo o texto, ainda não manipulamos, neste momento, qualquer forma conceitual estruturada, pois uma forma de conhecimento provida de uma

*qualidade de sensação*¹³ - visual, ótica, tátil... - expõe nossa atividade perceptiva diante de uma “*descrição daquilo que é tal como é*”. A ausência de elaboração decorrente da exposição de nossos sentidos a algo expressa-se pela forma de *imediatez* (imediatez) e de *presentidade* com que nos expomos a esse algo. É precisamente pelo fato de um processamento primário estar circunscrito a essas duas categorias que não dispomos de tempo suficiente para fazer dele uma elaboração conceitual, isto é, traduzir esse algo em termos de estruturas abstratas, de funções, de propriedades recorrentes etc. Se, por hipótese, fôssemos descrever a postura de certos animais em formas geométricas aproximadas – uma *cobra rastejando* como uma *linha*, uma *cobra enroscada* como uma *espiral*, um *coelho assentado* como um *triângulo*, um *tatuzinho encolhido* como uma *bola*, teríamos de superar uma apreensão na ordem da sensação para alcançar uma apreensão na ordem da percepção. No domínio do presente e do imediato, o que apreendemos são *cobras*, *coelhos* e *tatuzinhos*, mas não dispomos de tempo para elaborar uma relação lógica de implicação que parece prevalecer em todas essas relações: *se cobra rastejante, então linha, se tatuzinho encolhido, então bola etc.* Uma relação lógica desse tipo, ainda que elementar, requer um intervalo de tempo para sua elaboração e não seria apenas o resultado de um *abrir os olhos*, de um *tocar com as mãos* etc.

A extensão em que podemos assumir essa formulação, certamente, depende do equacionamento de muitos mistérios que ainda envolvem a capacidade que temos de compreender as coisas e de justificar as operações que realizamos para compreender. Não poderíamos, com certeza, excluir a interferência da categorização por mais que esse processo seja considerado incipiente, porque, do contrário, correríamos o risco de supor que muitas das nossas sensações não tivessem uma contrapartida direta na atividade cognitiva, ou que muitas se perdessem, irremediavelmente, sem repercussões na formação da nossa memória conceitual.

- Uma sensação é uma atividade cognitiva e como tal ela não apenas categoriza (por exemplo, o olho distingue escalas cromáticas, a mão distingue natureza de superfícies, o ouvido distingue tipos de sons,

¹³ Poderíamos especular se o conceito de *qualidade de sensação* não estaria próximo ao que tem sido referido como *qualia*, isto é, alguma forma de sensação primitiva para o domínio da cognição.

mesmo num primeiro contato), mas também antecipa orientações que serão necessárias à consolidação desse processo em estágios posteriores (ver uma *águia* orienta-nos para *objetos alados*, ver uma *cadeira* orienta-nos para *objetos artefatos*), ainda que venhamos correr o risco de equívocos. Se aceitamos os fatos na dimensão descrita, devemos retornar à questão proposta e conjecturar sobre o que retemos de um objeto nesse estágio inicial de seu reconhecimento.

A discussão dessa conjectura passa pela suposição da atividade de um percepto¹⁴ puro, que não opera com a retenção de qualquer forma de elaboração conceitual. É assim que Peirce parece supor essa exposição inaugural a algo: ao sermos tocados por um objeto, a imediatez presente dessa exposição não permite que elaboremos sobre ele, mas apenas que o retenhamos em sua forma mais imediata, o presente. Peirce (1980: 18) formula:

"Quando algo se apresenta ao espírito, qual é a primeira característica que se nota (...)? A sua presentidade, certamente. (...) O presente (imediat) é o que é, não determinado pelo ausente, passado e futuro."

A condição que Peirce aponta para o funcionamento de um percepto, assim concebido, é "*a presentidade*", "*é o que é*" enquanto acontece, sem qualquer referência ao *passado* e ao *futuro*, condições que costumam ser supostas, por exemplo, à fundamentação de uma regra, de uma estrutura. A admissão desse percepto não parece ser evidente, a não ser que o concebamos na dimensão proposta pelo autor, para o qual a única condição a ser imposta é a *presentidade*. Se validamos o funcionamento do percepto com base nesse princípio, ele não nos servirá de instrumento de discriminação e de reconhecimento de estruturas, de padrões, contidos nas experiências que vivemos. De fato, é difícil sentir um fato, um objeto, sem que a ele sejamos expostos por alguma fração temporal, mas é difícil também compreendê-los, sem que dele nos distanciemos, recorrendo ao passado, isto é, a uma parte da nossa memória já formada. Quando potencializamos o olho milhares de vezes, através de um microscópio, numa atividade que nunca havíamos antes exercido, a compreensão do

¹⁴ Estamos considerando *percepto*, a aptidão de um organismo para o reconhecimento, a apreensão de informações através de sensores específicos acionados pelo sentido da visão, do tato, do olfato, da audição, do sabor.

objeto de observação levará em conta movimentos, formas geométricas, matizes cromáticas, padrões estruturais recorrentes, nada que já não esteja em nossa memória. Assim, para se compreender um objeto, torna-se necessário o mínimo de distanciamento temporal, pois o seu presente imediato, embora seja responsável por inaugurar a percepção, parece nos "sufocar" – enquanto uma perspectiva de elaboração conceitual –, já que apenas nos mostra *o que é*.

Indiferentemente se devemos seguir Peirce na compreensão do percepto, o fato é que os fenômenos vividos na *presentidade* constituem fonte necessária para a construção de outras etapas do processo de cognição. Por outro lado, o que experimentamos, enquanto presente, pode até vir a dissipar-se na fugacidade do tempo, mas compreender qualquer coisa dessa experiência significa processá-la, submetê-la a um domínio onde se formam padrões cognitivos, onde a experiência se estrutura. Aqui já não estamos apenas submetidos às sensações, à exposição do presente imediato. Recorremos a toda uma rede de elementos que está mapeada na memória, como nos tornamos também aptos a construir outras redes. As estruturas, os construtos, os padrões permitem que operemos com o *ausente*, enquanto um recuo ao passado, ou uma projeção para o futuro. Essa é a etapa do processo que vamos denominar de percepção, onde devem prevalecer esforços na tentativa de elaborar formas racionais para tudo o que conhecemos e onde nos tornaremos mais aptos a responder questões como *O que é conhecer? Como representamos aquilo que conhecemos?*

3.2. DA PERCEPÇÃO À REPRESENTAÇÃO

Cada uma dessas questões acima aponta para uma dimensão daquilo que pode constituir a nossa atividade racional de conhecer, isto é, uma atividade que leva em conta a capacidade e a necessidade de categorizar. No campo da percepção, vamos entender a categorização, enquanto uma possibilidade racional de classificar, de estruturar, de reconhecer padrões e funções, de construir relações, de formalizar, de elaborar algoritmos etc. É claro que muitas dessas atribuições da categorização já podem ser consideradas no plano da representação: construir certo tipo de algoritmo implica não apenas *perceber* um formato de cálculo para certos objetos, mas ainda *representá-los* em um padrão formal possível.

Para cada uma dessas operações precisamos construir parâmetros específicos que sejam capazes de prover respostas adequadas para os fenômenos em análise, da mesma forma que prover padrões gerais para sua representação¹⁵. Lógicas, matemáticas e as línguas naturais são meios de que nos valem, globalmente, na construção desses instrumentos. Pelo fato de recorrermos a esses meios, como forma de representação, eles acabam moldando o modo pelo qual conhecemos as coisas. Por exemplo, a predicação, como operação típica das línguas naturais, espelha um padrão de conhecimento disponível: todo objeto que conhecemos é um objeto para o qual podemos construir-lhe ao menos uma predicação (e o que conhecemos dele é o que predicamos sobre ele). Na seqüência, vamos tentar apontar algumas repercussões desses meios nos processos de conhecimento, destacando o plano da percepção.

A atividade da percepção, indiferentemente dos termos alternativos usados para caracterizá-la, conheceu, no último século, dois grandes confrontos: de um lado, a visão gestáltica (ou holística) preconizando que a compreensão de um objeto se faz pela apreensão da totalidade que o constitui; de outro, a visão atomística (ou composicional, em sua versão mais atual) apregoa que essa mesma compreensão implica o reconhecimento das partes para se obter um entendimento do todo¹⁶. As dificuldades para compreender a percepção, dentro de uma concepção geral da cognição, acabam gerando indecisões sobre a adoção por uma ou outra visão. Os fatos disponíveis, embora em planos conceituais muito distintos, podem justificar ambas: ninguém pode, por exemplo, negar o avanço que representa, para a humanidade, a tabela periódica dos elementos, em termos daquilo que propiciou como compreensão sobre substâncias, no plano de micro estruturas. A conjunção de elementos dessa tabela, através de regras específicas, possibilitou a compreensão decisiva sobre a natureza das substâncias. Não estamos seguros, todavia, se a compreensão de um animal, de uma árvore, em um plano macro-estrutural, depende de uma compreensão prévia de suas partes componentes. Há certas convicções sobre o funcionamento da categorização nesse segundo

¹⁵ Aqui, mais uma vez, valemo-nos das formulações de Walgenbach (2002) neste livro, para afirmar a utilização, ainda como um padrão muito genérico, de *círculos, bolas, árvores e redes*, por exemplo, como instrumentalização de formas para representar o conhecimento.

¹⁶ Ver Oliveira (2002) neste livro.

→ plano, atribuída a Frege, que recorre à composicionalidade dos conceitos, como condição necessária à compreensão. Nessa dimensão, para se conhecer um objeto é necessário recorrer à formação de um conceito, tornado possível a partir da reunião de um conjunto de propriedades. Quando conhecemos um objeto x, construímos o seu conceito pela conjunção de propriedades descritivas e funcionais que a ele atribuímos.

→ Essa postura sobre a formação conceitual, às vezes submetida a pesadas críticas, foi propagada na lingüística, desde o estruturalismo, e talvez tivesse como ideal alcançar a eficácia explicativa da tabela periódica, ao reunir categorias, por exemplo, com as pretensões de se erigir um quadro geral de primitivos semânticos (afinal, a pretensão era que a natureza tivesse um funcionamento similar em planos diversos). Tais primitivos (*substância, qualidade, quantidade, animado, humano, adulto, movimento, verticalidade, lateralidade* etc.), numericamente finitos e mediante regras de composição, seriam responsáveis pela construção de toda a significação concebível. Esse quadro, entretanto, nunca chegou a ser construído em sua totalidade e dele as teorias semânticas retiveram apenas algumas derivações e alguns padrões de cálculo. Por exemplo, podemos demonstrar uma derivação para o percurso conceitual que vai de *animal* até *criança*, ou que nos permite contrastar termos como *largo / estreito* ou *alto / baixo*, quando se aplicam a objetos físicos, utilizando uma regra de implemento de um traço categorial em cada um dos passos:

- (1) (i) ([animado] → *animal*);
(ii) ([animado] + [humano] → *pessoa*);
(iii) ([animado] + [humano] + [não adulto] → *criança*).
- (2) (i) ([dimensão] → *largo, estreito, alto, baixo*);
(ii) ([dimensão] + [lateralidade] → *largo* ou *estreito*);
(iii) ([dimensão] + [verticalidade] → *alto* ou *baixo*);
(iv) ([dimensão] + [verticalidade] + [superior] → *alto*);
(v) ([dimensão] + [lateralidade] + [inferior] → *estreito*) etc.

Embora o formalismo possa ser eficaz em algumas circunstâncias, não há evidências de que o nosso cérebro funcione dessa maneira ao compreender o que seja uma *criança* (linha 1.iii), ou o que seja uma *criança alta* (linha 1.iii + linha 2.iv). Gostaríamos, é claro, que esse

formalismo insípido, e que nos apontasse em direção daquilo que pode ser admitido como um processamento mental/cerebral, para a compreensão. Afinal, padrões estáveis de percepção que desenvolvemos ao longo de nossa existência devem ser (recursivamente) reutilizáveis nas situações novas a que somos expostos. Para avançar um pouco mais sobre o conceito de percepção, vamos destacar uma citação inicial de Greimas (1973: 15) que afirma: “*É com conhecimento de causa que nos propomos a considerar a percepção como o lugar não lingüístico onde se situa a apreensão da significação.*”

→ O que destaca como fundamental, nessa citação, é a função da atividade perceptiva, enquanto um estágio da cognição onde se realiza a “*apreensão da significação*”. Perceber, como já havíamos apontado anteriormente, é mais do que simplesmente estar exposto a um objeto, por meio de um sensor (olho, ouvido, mão...); mas é, sobretudo, extrair, de cada experiência sensível, um significado para a nossa atividade de cognição. Para *perceber* uma paisagem não basta extrair dela apenas uma sensação de cor, de forma, de planos etc., é preciso atrelar cada um desses momentos à apreensão do significado que emerge dos seus componentes. As cores podem nos levar a extrair dela o significado de [*castigada pelo inverno ou pela seca*], ou de [*rejuvenescida pela primavera ou pelo trato*]. Assim, compreendemos um objeto, um fato, uma paisagem, quando nos tornamos capazes de atribuir-lhes uma significação, ou pelo contraste com outros da mesma natureza, ou pelo reconhecimento de seus componentes. Para Greimas (1973: 28), “*Percebemos diferenças e, graças a essa percepção, o mundo toma forma diante de nós, e para nós.*”

Se a percepção de diferenças e, por conseguinte, a existência da semelhança são responsáveis por um estágio decisivo para nossa percepção e se é através da primeira que “*o mundo toma forma diante de nós*”, restaria indagar como procedemos à determinação de diferenças, quando cotejamos dois objetos. Vamos tentar justificar parte dessa operação, recorrendo a alguns aspectos da formulação de Monod (1971) sobre as categorias *regularidade, repetição, projeto e função*, reconhecendo nelas uma forma mais específica de determinação de diferenças ou de semelhanças. Em outros termos, a diferença entre dois objetos pode ser demarcada, atribuindo-lhes *funções* distintas; a semelhança pode lhes ser atribuída admitindo certas *repetições* no seu padrão estrutural e assim por diante.

Se o resultado final da cognição, em seu estágio perceptivo, é a concepção de uma racionalidade – diferencial - dos objetos, seria fundamental ressaltar, nessa análise, o papel que devemos conferir às categorias *regularidade e repetição*, no formato concebido por Monod (1971: 16), num primeiro reconhecimento da diferença entre objetos naturais e objetos artefatos. Como o autor dimensiona o primeiro desses critérios ?

“Pelo critério de regularidade procuraríamos utilizar o fato de que os objetos naturais, modelados pelo jogo das forças físicas, quase nunca apresentam estruturas geometricamente simples: superfícies planas, arestas retilíneas, ângulos retos, simetrias exatas, por exemplo; enquanto que, em geral, os artefatos apresentariam tais características, mesmo que fosse de modo aproximado e rudimentar.”

O texto de Monod contrapõe a natureza estrutural, numa dimensão macro-estrutural, de dois tipos de objeto: um natural, geometricamente mais complexo, porque suas estruturas não se reproduzem dentro de padrões de simetria e de previsibilidade angular; um outro artefato, geometricamente menos complexo, porque sua estrutura tende a ser reprodutora de simetria, de padronização angular e de superfícies não-acidentadas, de tamanho dos componentes, ao menos numa forma primária. O que esse critério revela sobre a nossa percepção da realidade e o que traz de relevante para os problemas de categorização ?

Se estivéssemos a observar, em uma vitrine, dois arbustos ornamentais, um natural, outro artefato, e se fôssemos submetidos ao desafio de decidir sobre a natureza de um e outro, dispondo apenas da visão, como instrumento de avaliação (o olfato, o tato, por exemplo, estariam excluídos pela situação), qual deveria ser a expectativa de uma conduta racional de decisão ?

A indicação do objeto artefato implicaria a admissão de um número maior de *regularidades*, isto é, galhos de dimensões idênticas dispostos simetricamente, curvatura dos galhos proporcional ao seu tamanho, coloração padronizada para o tipo de componente, tamanho e disposição das folhas próximas a uma identidade e muitas outras. Do arbusto natural, reteremos singularidades que escapam à geometria

previsível de um objeto artefato: ausência de simetria, cores diferenciadas, dimensões menos regulares. Por mais que o artífice se empenhasse em produzir uma árvore com singularidades, ele não resistiria à tentação de deixar que muitos dos seus movimentos se repetissem e se materializassem em escalas diversas do seu artefato.

A *regularidade*, associada aos artefatos, não é um fato meramente contingente, mas uma necessidade, até mesmo por economia na sua produção industrial e por conveniências na sua socialização funcional. É possível ainda que, ao dispormos de apenas um canal de avaliação - a vista -, sejamos traídos no reconhecimento entre um objeto artefato e um natural, seja pelo esmero do artífice em não se deixar reproduzir, seja pela nossa pressa em percorrer os objetos, seja por uma deficiência de luz ambiente para captar detalhes, seja por algum tipo de deficiência do órgão da visão do observador para perceber escalas cromáticas. Entretanto, a presença de uma destas deficiências pode ser sempre compensada, à medida que nos dispusermos a acionar outros canais, como o olfato, o tato entre outros.

Esses dois padrões no reconhecimento de objetos, determinados pela regularidade de suas propriedades constitutivas, podem ser admitidos como critério necessário para uma primeira diferenciação no reino dos objetos. Em outras palavras, a forma mais primitiva de compreensão de um objeto implicaria admiti-lo, então, como uma espécie natural ou como um artefato. Se isso é verdadeiro, podemos supor, portanto, que o processo de percepção seja conduzido pela necessidade de reconhecer *regularidades*, enquanto um recurso fundamental ao reconhecimento de classes. Esta aproximação entre *percepção* e *regularidade* decorre, pois, da natureza funcional que atribuímos a ambas, por se constituírem como formas de um agir racional sobre o mundo das coisas. É lógico, entretanto, que tal aproximação não pode ser pensada em termos de uma precisão formal atribuível às categorias em questão, ainda que sejam operações legitimadas pelo esforço racional de compreender e integrem, de modo natural, a nossa existência. A cada instante da vida, somos conduzidos a acioná-las, a fim de equacionar formas de comportamento compatíveis com uma extrema diversidade de objetos a que nos tornamos expostos.

Outra categoria que gostaria de ressaltar na formulação de Monod (1971: 17) é a *repetição*, enquanto um avaliador da nossa atividade de percepção. Se perceber é reconhecer padrões racionais nos objetos

(pela semelhança, pela diferença, pela regularidade), que importância devemos conferir à *repetição* na tarefa de categorizar? Destaquemos uma formulação do autor a esse propósito:

“O critério de repetição seria, sem dúvida, o mais decisivo. Materializando um projeto renovado, artefatos homólogos, destinados ao mesmo uso, reproduzem com certas aproximações as intenções constantes de seu criador. A este respeito, a descoberta de numerosos exemplares de objetos com formas bastante definidas seria, portanto, muito significativa.”

A *repetição* continua sendo reiterada pelo autor, enquanto um critério válido que permite distinguir objetos artefatos de objetos naturais, à proporção que confere aos primeiros uma constância funcional que traduz as intenções do seu artífice, quando lhes inscreve um projeto de uso determinado. Embora Monod assinale que a aplicação de ambos os critérios (*regularidade* e *repetição*) decorra de uma avaliação estrutural dos objetos em sua dimensão macroscópica, e não microscópica, já que nessa dimensão “estariamos diante de estruturas atômicas e moleculares”, contendo “geometrias simples e repetitivas”, é, precisamente, na macroscópica, onde se materializa uma “*intenção consciente e racional*” dos objetos, de acordo com um projeto que lhes é atribuído. Portanto, é nesta última dimensão que se dá a nossa experiência direta com a realidade; é nela que, em razão da homologia, reconhecemos classes, seus membros regulares e seus membros anormais.

A *repetição* avança, em termos da categorização perceptiva, mas não em uma direção necessariamente idêntica à da *regularidade*: as semelhanças que apontamos para o arbusto artificial na vitrine são previsíveis de recorrência em milhares de outros desta classe (o mesmo não saberíamos dizer para o arbusto natural); mas a previsão de componentes da estrutura de um animal (cabeça, pernas, patas com propriedades e caracterizações similares) assume as mesmas chances de ocorrência em muitos outros exemplares da espécie. Monod enfatiza, no prisma da *repetição*, a regularidade funcional de um projeto, que reproduz as *intenções* do seu criador: em se tratando de objetos homólogos devemos, pela *repetição*, prever a ocorrência desse projeto intencionalmente construído, de forma diferente de quaisquer outros objetos naturais.

Dessa forma, quando marceneiros decidem construir **cadeiras**, a *repetição* deve ser o parâmetro que conduz sua atividade na determinação do tamanho das peças (assento, encosto), da orientação espacial dessas peças (horizontal, vertical), da angulação entre elas (próxima dos 90 graus), da altura dos pés, da espessura das peças (prevendo um certo padrão médio de peso das pessoas) etc. A *repetição* funciona, assim, como uma espécie de métrica que também regula nossa percepção dos objetos artefatos e é em razão dela, sobretudo, que se torna possível reconhecer uma classe de objetos. É plausível que singularidades se façam presentes também num artefato (afinal, cada cadeira só é idêntica a ela mesma), mas essa não é a característica essencial de sua existência: aqui esperamos que a repetição seja o princípio que assegura a estabilidade estrutural. A possibilidade de perceber singularidades, mesmo quando se espera o previsível, demonstra a capacidade que temos de nos adaptarmos a novas circunstâncias e de, provavelmente, "corrigirmos" membros marginais de um domínio, em razão de protótipos assegurados pela *regularidade* e pela *repetição*.

Parece evidente que a *repetição* nos oriente em direção àquilo que é mais saliente na percepção de um objeto artefato, certamente, as finalidades que lhe conferimos. Não seria sensato supor que esse critério nos levasse a perceber 'mesa' por um aspecto acidental do seu tampo (cor, tamanho¹⁷, formato), porque esta não é, certamente, uma das características salientes na percepção estrutural de tal objeto: todo **tampo de mesa** pode apresentar cores, tamanhos, formatos semelhantes ou dissemelhantes, sem que haja qualquer padrão de *repetição* previsível que assegure o domínio do objeto. O que vale na percepção de tal objeto é existir tampo e não tampo no formato x, ou y. Na extensão do texto de Monod (1971), podemos supor a *repetição* como uma operação de racionalização sobre a realidade: aquilo que se repete na existência de um objeto faz parte da sua estrutura conceitual e é dela que fazemos uso no reconhecimento de novos exemplares da classe.

Nos termos propostos por Monod, *regularidade* e *repetição* definem, portanto, planos estruturais dos objetos; não devem ser confundidos

¹⁷ Por uma questão de comodidade, quando as mesas não são desmontáveis, quase sempre mantêm uma padronização do tamanho do tampo para que seja compatível com a largura de portas (entre 70 e 80cm).

como componentes de uma estrutura, mas apenas como orientação geral e primária para o seu reconhecimento. Certamente, compreender a dimensão estrutural de um objeto, com base em tais categorias, só é possível se esses objetos partilham de uma série qualquer, onde as duas categorias se tornam aptas a operar. Um objeto só apresenta *regularidades*, se existe, pelo menos, uma possibilidade de contrastá-lo na série (uma relação binária ao menos), em que outros objetos reproduzem o padrão, ou dele desviam, tornando-se um princípio estruturante. De modo semelhante, e mais decisivo, a *repetição*, para operar, requer a inclusão de membros num domínio, pois é no seu interior que semelhanças e dissemelhanças serão ordenadas para produzir estruturas. Logo, só é possível admitir a *repetição*, se pudermos reconhecer, na série, o que se repete, seja na totalidade de domínio, seja no agrupamento local de membros em sub-domínios. E aquilo que se repete, em quaisquer das dimensões acima, integram a estrutura. A análise de Monod sobre a importância das duas categorias torna-se mais precisa, à medida que a completa em razão da introdução de um terceiro elemento nessa relação. Trata-se do conceito de *projeto*. Vejamos, por fim, como se torna possível uma especificação maior da relevância dessas duas categorias, quando avaliadas na dimensão funcional de *projeto*.

Na medida em que avança na análise da oposição entre espécies artefatas (mesa, cadeira, sapato, caneta...) e espécies naturais (pedra, árvore, água...), Monod mostra uma certa difusão entre a natureza específica de membros dos dois domínios. O autor cita, por exemplo, uma *colméia* como um exemplar difuso, em algum sentido, entre os dois domínios considerados. A análise de tal objeto, no entanto, revela-o como portador de extrema regularidade na distribuição espacial dos favos, no formato de construção, no seu tamanho; logo, as estruturas se repetem de forma previsível de uma *colméia* para outra. O autor equaciona a questão, expandindo o conceito de agente (que produz artefatos) e não sacrificando os critérios da *regularidade* e da *repetição*. Uma *colméia* é, portanto, um objeto artefato (como *mesa* e *cadeira*), apenas produzido por seres não-humanos. Aqui, então, entraria um outro critério decisivo na qualificação da natureza dos objetos, isto é, a existência de um *projeto* para o qual um objeto qualquer é concebido. A uma *pedra*, como espécie natural, não está, *a priori*, associado qualquer *projeto* (a não ser quando a processamos para atender a um tipo de finalidade: revestimento de parede,

componente de concreto), mas existe ao menos um para **colméia**, como existe ao menos um para a **teia** que a aranha tece.

Em se tratando de seres humanos, podemos dizer que o *projeto* é uma forma conceitual de traduzir as intenções que associamos a um objeto, quando o construímos - ou quando dele fazemos um uso próprio, para objetos naturais. Nada impede, porém, numa extensão do termo, que ao mencionarmos um projeto possível para **colméia**, **teia**, **formigueiro**, **ninho**, admitamos também as intenções dos agentes que produzem estes objetos. Afinal, a construção de um **ninho** é feita para cumprir um objetivo específico, com materiais apropriados ao alcance e à capacidade de manuseio do seu construtor: o tipo de galhos de que um **castor** faz uso é diferente daquele tipo usado pelo **joão-graveto**.

Com certeza, um artefato, do ponto de vista da sua constituição, deve ter um *projeto* como a dimensão mais determinante, pois é em função desse *projeto*, isto é, do valor pragmático que lhe atribuímos, que será avaliado. Nada valeriam objetos que não estivessem aptos a desenvolver a função específica para a qual tivessem sido desenhados - ainda que viéssemos a reconhecê-lo como membro de uma classe -, nem um qualquer que fosse incapaz de explicitar esta função. Nada assegura, entretanto, que a sua apreensão se dê em razão de aspectos que lembrem uma função imediata a desempenhar. Para muitos deles costumamos perguntar *para que serve* ?. Ora, a própria pergunta já requer uma elaboração que antecipa a dimensão do seu projeto, pois só podemos perguntar sobre a finalidade de algum objeto, se dele já tivermos retido algum tipo de propriedade.

4. OBSERVAÇÕES FINAIS

O conjunto das operações que derivamos da percepção categorial, a partir da *diferença-semelhança*, da *repetição*, da *regularidade* e do *projeto* pode ser resumido em dois aspectos mais amplos. De um lado, sintetizamos as três primeiras categorias em *estrutura* e, de outro, convertemos *projeto* em *função*. O primado da *estrutura* reforça a necessidade de uma afirmação do caráter de racionalidade dos processos de categorização perceptiva: a *estrutura* emerge de relações sistêmicas, avaliadas através de componentes isoláveis e comutáveis numa série de elementos; ela se corporifica pelas relações de

disjunção, conjunção e implicação e a partir de processos inferenciais, construídos sem qualquer apelo a uma essencialidade dos objetos.

A orientação para a *função* enfatiza o valor pragmático, destacando a importância de um princípio de categorização determinado pelos efeitos práticos que derivamos de um objeto. A *função* orienta os objetos para uma dimensão finalista, ao menos para os artefatos, assegurando entre eles uma mútua dependência: tanto o objeto (artefato) implica a *função*, quanto esta implica aquele. Ela não é um componente do objeto, mas os componentes de um objeto estão dispostos de forma a atendê-la. Por isso, a *função* constitui uma extensão que se agrega ao objeto, sem que essa agregação possa ser pensada como algo secundário. É claro, entretanto, que não se pode desvincular de quaisquer compromissos mais integrados *estrutura* e *função*. Afinal, a *estrutura*, ao menos nos artefatos, deve ser apropriada ao exercício da *função* para a qual o objeto foi criado.

Por último, ao longo dessa discussão, procuramos apontar alguns aspectos que nos pareceram de maior importância para validar o processo de categorização. Destacamos, de início, a importância do percepto, enquanto um procedimento primário do organismo para o processamento cognitivo. Descrevemos, em duas etapas sucessivas – sensação-percepção e percepção-representação –, o papel que é desempenhado pela função e pela estrutura. Na presente reflexão, não foi possível avançar sobre uma abordagem mais extensiva da representação; apenas menções esparsas foram objeto de algum registro, devido à amplitude dos processos nela envolvidos. Seria inoperante tratar a representação conceitual, sem aprofundar modelos cognitivos derivados da predicação, da composicionalidade, da relação entre conjuntos, de aspectos da lógica difusa e da teoria dos protótipos, como padrões de estruturação do conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMSTRONG, S.L., GLEITMAN, L. R., GLEITMAN, H. What some concepts might not be. *Cognition*, n. 13, p. 263-308, 1983.

GREIMAS, A.J. *Semântica estrutural*. São Paulo: Cultrix, 1973.

JACKENDOFF, Ray. *Semantics and cognition*. Cambridge, Mass: The MIT Press, 1983.

LAKOFF, G. Hedges: a study in meaning criteria and the logic of fuzzy concepts. Chicago. *Proceedings of Chicago Linguistic Society*, n. 8, p. 183-228, 1972.

_____. *Women, fire, and dangerous things; what categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago Press, 1987.

MONOD, J. *O acaso e a necessidade*. Petrópolis: Vozes, 1972.

MORAVICSIK, J. M. E. How do words get their meanings? *The journal of philosophy*, v.78, n.1, p. 4-24, 1981.

PEIRCE, C. S. *Escritos Coligidos*. São Paulo: Abril, 1980. p. 5-176. (Col. Os Pensadores).

ROSCH, E. Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology*, v. 104, p. 192-233, 1975.

TAYLOR, John R. *Linguistic categorization: prototypes in linguistic theory*. Oxford: Clarendon Press, 1989.

WELSH, C. Is the compositionality principle a semantic universal? *Proceedings of the twelfth annual meeting of the Berkeley Linguistics Society*. California: Berkeley Linguistics Society, p.551-563, 1986.

TEORIAS

Rogério Parentoni Martins
UFMG

"Uma das forças da investigação científica é que ela pode avançar por meio de qualquer mistura de empirismo, intuição e teoria formal que se ajuste à conveniência do pesquisador" (Williams 1966)

I. INTRODUÇÃO

Suponha que uma única pessoa desse conta de entender todas as teorias científicas aceitas. Ao compreendê-las, esse fenômeno intelectual estaria conhecendo o universo tanto em seus detalhes mais íntimos como em sua mais ampla abrangência? Para os que recusarem a postura reducionista (o todo nada mais é do que a mera soma das partes) há o antípoda holístico: pode-se reconhecer um universo singular (com características particulares independentes de suas partes

constituintes) como algo mais do que a simples soma das partes que o constituem?

Ambas alternativas de análise científica atraem adeptos entusiasmados que acreditam em suas capacidades exclusivas de promover um conhecimento mais aperfeiçoado sobre a natureza. Ao mesmo tempo, em especial entre os físicos, há vários que já decretaram a morte do holismo, enquanto permanecem instalados de modo confortável nas "poltronas" do reducionismo quântico. Porém, a despeito de suas virtudes e defeitos, as respostas do holismo e do reducionismo a questionamentos sobre a natureza do universo têm um ponto fraco em comum: não esclarecem certas dúvidas científicas e filosóficas fundamentais sobre a possível realidade de um universo singular (veja, entretanto, Oliveira (2002) neste livro). Dúvidas que persistem sobretudo devido à diversidade de modos de se pensar sobre a natureza do universo, que se baseia em diferentes interpretações do que seja conhecer, a serem brevemente discutidas mais além.

No entanto, cientistas naturais empolgados com o progresso científico e tecnológico gerado pelo emprego do reducionismo não hesitariam em afirmar que o conjunto das teorias aceitas, em cada área de especialização, de fato descreve a estrutura e dinâmica do universo. Apenas o tempo, necessário para o aperfeiçoamento e geração de novas teorias, e a falta de tecnologias mais refinadas, seriam para estes os únicos empecilhos a um conhecimento mais detalhado do universo.

Porém, o conhecimento produzido por cientistas e tecnólogos das 8530 especialidades atuais (Crane & Small, 1992) seria capaz de descrever as características de um universo distinto de algo que pode ser representado por uma colcha de retalhos? Embora minha resposta a essa pergunta seja negativa, não creio que a abordagem holística a responderá satisfatoriamente.

Não há, e quem se arriscará a dizer quando ocorrerá, uma integração teórica dos conhecimentos produzidos pelos cientistas e tecnólogos dessas milhares de especializações? Uma integração que satisfaça ao mesmo tempo os critérios de abrangência, clareza, elegância e simplicidade que tornam as teorias sedutoras e que inclua a compreensão de certos fenômenos reconhecidos como de alta complexidade?

Embora a chamada “ciência da complexidade” esteja se desenvolvendo de um modo que pode ser considerado promissor (Holland, 1996; Oliveira, P.M.C. 1993; Oliveira, 2001 e Oliveira, 2002 neste livro), o conhecimento disponível sobre o universo é ainda um conjunto desconexo de teorias. Por isso, representar esse conhecimento como uma “colcha de retalhos” apenas indica o óbvio de que há um conjunto de conhecimentos teóricos (alguns amparados em evidências experimentais) sobre diferentes partes do universo. Além disso, persistem sem respostas perguntas incômodas, mas absolutamente essenciais (há um universo singular?). Fato esse também trivial se considerarmos o desenvolvimento histórico, ao longo dos séculos, das concepções científicas e filosóficas ocidentais sobre o conhecimento (veja Delattre, 1992).

Admitindo-se que há uma pequena probabilidade de se compreender o universo como algo singular, quem sabe essa singularidade intuída se revelasse nas propriedades emergentes (resultantes de interações entre seus componentes, mas não detectáveis quando esses são observados isoladamente) tão caras aos holistas. Porém, mesmo que não houvesse dúvidas de que descrever as propriedades emergentes, de partículas infra-atômicas a conglomerados de galáxias, fosse o bastante para caracterizar um universo singular, ainda restaria a colossal tarefa de se mostrar como estas se integrariam em um todo lógico e coerente. Uma alternativa poderia ser analisar as relações entre o conjunto de estruturas e processos de cada nível hierárquico de organização da matéria e a sua integração. Tarefa sem dúvida monumental e sem garantias de que produza respostas abrangentes:

Integrar as propriedades emergentes depende de criatividade e da qualidade dos fios teóricos que supostamente as manteriam integradas. Ambos não foram ainda suficientes para tecer uma integração tal que revelasse um universo singular. Por isso, permanecem dúvidas de que seja possível transformar um conjunto de conhecimentos heterogêneos, gerados a partir de perguntas específicas, em um todo coerente. Pior ainda são as dúvidas que pairam sobre a “realidade” dessas propriedades emergentes. Restaria ainda uma alternativa de resignação, inspirada no otimismo incurável do Dr. Pangloss, preceptor de Cândido, personagens de Voltaire: aquietemos nossos espíritos, pois o conjunto de conhecimentos que há sobre o universo é o melhor possível. Mas seria exigir muito que certas mentes criativas se resignassem à panacéia do otimismo panglossiano e abandonassem

suas fortes intuições de que haja um universo singular, especialmente as que acreditam no Big Bang, o evento singular que lhe teria dado origem há cerca de 15 bilhões de anos.

A física, em especial, atrai algumas dessas mentes que vislumbram a possibilidade de se obter "teorias de tudo" (Barrow, 1994; Greene, 2000). Físicos como estes acham que essas teorias seriam possíveis a partir da unificação teórica das quatro forças fundamentais que agem sobre toda a matéria do universo: forças nucleares fraca e forte, eletromagnética e força da gravidade (Greene, 2000). Porém, mesmo que isso aconteça, a compreensão ficaria ainda incompleta principalmente porque não incluiria certas complexidades próprias da biologia que, dentre as ciências naturais, é uma das que mais resiste a ser considerada um caso particular da física. No entanto, também há na biologia tentativas de obter-se "teorias de tudo". Esse é o caso da proposta de West, Brown e Enquist (2001) de que o mundo vivo seja governado por leis simples baseadas na relação entre o tamanho, taxa metabólica dos organismos e propriedades fractais de seus corpos. Certos autores se entusiasmaram com o projeto de West, Brown e Enquist. Por exemplo, Niklas (2001) vê nele uma importância potencial para a biologia como foram as contribuições de Newton para a física. Todavia, há os que, como Horn (2001), o acham menos plausível à medida que se conhecem mais detalhes da fisiologia de organismos particulares, que parecem ser mais complexos do que esperado pelas relações entre tamanho de corpo, metabolismo e sua geometria fractal.

A complexidade de certos fenômenos biológicos é de tal ordem que não pode ser elegantemente reduzida à simplicidade dos modelos matemáticos que os físicos usam para descrever a matéria e as forças que agem sobre ela. Um exemplo dessa complexidade é funcionamento do cérebro e a relação cérebro/mente (veja Pereira, 2001).

Por mais convincentes que as teorias possam vir a ser, o conhecimento do universo não dependerá tão somente de sua formulação, mas também de questionamentos da filosofia do conhecimento e ciências humanas. Vejamos, por exemplo, se há uma resposta de alcance universal à supostamente simples pergunta: por que somente certas pessoas são cientistas e destas apenas algumas são criativas? E essa questão é essencial, pois tenta compreender as origens da formulação

de teorias e, portanto, como se origina o conhecimento científico. Entretanto, a despeito de pesquisas biológicas e psicológicas que procuram evidências para as origens das vocações profissionais, não há respostas satisfatórias para essa simples pergunta. Pesquisas de psicólogos e biólogos não esclarecem quais seriam as influências das variações ambientais, genéticas ou de uma certa combinação entre ambas nas origens das vocações profissionais. Trata-se da velha, mas sempre presente questão se é a natureza ou a cultura que mais influenciam na origem do comportamento humano.

Creio que até mesmo os próprios cientistas seriam incapazes de respondê-la aplicando os critérios de racionalidade e objetividade que dizem empregar na descoberta de “verdades científicas”. Muitos, ao contrário, quando se expressam a respeito oferecem explicações em bases emocionais e com certa dose de romantismo. Não tenho nada contra estas posturas, se fosse possível verificar-lhes as evidências. Ainda que verdadeiras, seriam, porém, tão subjetivas que não serviriam como um modelo geral que facilitasse a compreensão sobre as origens da capacidade que cientistas têm para formular teorias ou, melhor dizendo, a compreensão das origens e desenvolvimento do conhecimento e imaginação. Bronowski (1997) acredita que a origem da criatividade esteja vinculada à evolução da visão e da linguagem. Deste modo, apesar de propor um modelo geral, com base na biologia, para explicar a origem da criatividade, Bronowski não explica porque a criatividade é supostamente tão rara entre leigos e até mesmo entre os cientistas.

Se há dificuldades para compreender questões aparentemente simples, tal qual a discutida acima, essas se multiplicam, e até podem se tornar questões de fé, quando as respostas a determinadas questões essenciais incluem elaborações metafísicas. Há físicos que acreditam ser possível demonstrar cientificamente, por exemplo, a improbabilidade de se caber um deus no universo, tal qual descrito pelas teorias da física. Em outro extremo há cientistas que em sua maturidade intelectual invocam intervenções divinas, alegando sua necessidade para entender-se a suposta ordem e equilíbrio do universo que certas teorias lhes parecem sugerir. Situação essa semelhante à de certos filósofos gregos da Antigüidade, por exemplo, Demócrito, exceto pelo fato de que não os incomodava as crenças em deuses, pois essas não se colidiam com suas concepções materialistas do universo. Problemas tiveram filósofos e cientistas escolásticos, muitos deles religiosos,

devido às dúvidas que os atormentavam sobre o papel do divino no estabelecimento da ordem e equilíbrio cósmicos. Na modernidade, a despeito da ciência ter-se tornado independente da religião, há ainda aqueles cientistas que se tornam prisioneiros de concepções do universo baseadas em intervenções divinas. Contudo, não vejo como uma compreensão mais abrangente do universo possa depender de concepções espiritualistas e metafísicas que, além de seu caráter subjetivo radical, são em geral inacessíveis à investigação científica.

Em outro extremo, um conjunto expressivo de cientistas materialistas ou fisicalistas radicais ignora questões metafísicas e filosóficas sobre a natureza do conhecimento e acredita que apenas o conhecimento científico é verdadeiro. Uma atitude típica do uso do argumento de autoridade que se ampara na legitimidade garantida em avaliações de mérito realizadas por outros cientistas, que são ao mesmo tempo árbitros e coniventes, e no progresso tecnológico que o conhecimento científico proporciona.

Para que essa autoridade não fosse questionada, seria necessário que esses cientistas explicassem de um modo universal porque o conhecimento científico seria mais “verdadeiro” do que outras concepções do conhecimento. Neste caso seriam obrigados a admitir que há diferentes concepções sobre o que é conhecimento; um passo precedente compulsório à emissão de qualquer certificado de validade exclusiva para o conhecimento científico. A vantagem é que essa atitude lhes traria o “status” de intelectuais *lato sensu*, exatamente o oposto à designação de especialista pela qual muitos são identificados.

Há três concepções principais que pretendem justificar a natureza do conhecimento: o realismo epistemológico, o construtivismo ontológico e o realismo ontológico (Mahner & Bunge, 1997). O realismo epistemológico admite que pelo menos parte do universo possa ser conhecida, enquanto o construtivismo ontológico que o universo é uma “criação” da mente, pois é ela que dá significado aos objetos naturais. O realismo ontológico, por sua vez, é praticado, em especial, pelos cientistas naturais que acreditam que o universo exista independentemente da existência de observadores. Mahner e Bunge ilustram essa concepção na biologia: os biólogos em geral não duvidam de que os dinossauros existiriam, mesmo se os seres humanos jamais tivessem evoluído. De modo similar, há físicos que acreditam que o Big Bang teria existido independentemente da

evolução humana. Crenças estas sem sentido para os adeptos do construtivismo ontológico, para quem dinossauros e o Big Bang só teriam significado como categorias criadas pela mente.

2. TEORIAS POSSÍVEIS, INTERPRETAÇÕES VERDADEIRAS ?

"Se um fenômeno pode ser explicado de uma maneira é porque admite uma série de outras explicações possíveis" (Poincaré, Optique Électrique).

Não discutirei o aparente antagonismo entre as três justificativas da natureza do conhecimento. Tampouco as cotejarei com outras concepções. Também não reconhecerei a supremacia de nenhuma delas. A história da evolução das concepções de teoria desde a Antigüidade mostra que o realismo epistemológico, o construtivismo ontológico e o realismo ontológico vêm e vão, com o passar dos séculos, nas ondas do pensamento ocidental (veja Delattre, 1992). Mais de 20 séculos não foram o bastante para que surgisse um consenso entre filósofos e muito menos entre filósofos e cientistas. Talvez o consenso nunca acontecerá, em parte porque uma compreensão abrangente da estrutura e dinâmica do universo talvez seja dependente de que cada justificativa tenha contextos de "verdade" exclusivos de cada época histórica. Ainda que o consenso se realizasse a favor de uma das três justificativas, o mesmo seria restritivo, pois, ao elegê-la, reduziria a diversidade de interpretações e limitaria a abrangência da compreensão sobre a "realidade" do conhecimento. Além disso, tal acordo hipotético talvez interessasse apenas à meia dúzia de filósofos da ciência. De sua parte, cientistas continuariam a pesquisar o universo alheio a essas questões e supostamente satisfeitos com o sucesso que a adoção do realismo ontológico promove na práxis científica.

Se esse livro pretende de fato ressaltar a importância de se reconhecer que a compreensão do universo está e estará sempre em construção, uma atitude de maior coerência seria aceitar-se a possibilidade de coexistência entre justificativas, cientes de que tal atitude não traria prejuízos, mas que ao contrário elevaria a qualidade da compreensão do que é conhecimento. Talvez mais adequado fosse até mesmo

considerar-se a validade conjunta do realismo epistemológico e construtivismo ontológico. Isso significa aceitar a possibilidade de que o universo possa, pelo menos em parte, ser conhecido (satisfazendo dessa forma os cientistas realistas não radicais) e que essa compreensão seja o resultado das teorias que os cientistas criam em suas mentes (admitindo, de acordo com a filosofia da ciência moderna, que a determinação do fato empírico só faria sentido no contexto de alguma teoria; veja-se, Oliva, 1994).

Nessa perspectiva, não obstante as dificuldades de diferentes ordens postas acima, as teorias podem ser consideradas os pilares mais importantes que sustentam a compreensão do universo. Basta imaginar que sem elas teríamos apenas fatos que em si mesmos carecem de sentido, a não ser que uma teoria os organize e interpretem. Todavia, para que a teoria cumpra bem essa função "organizadora" do conhecimento, ela não deve ser inteiramente rígida, pois a mínima suspeita levantada sobre a consistência de sua estrutura poderia provocar rupturas e desabamentos do conhecimento que mantém. Por esse motivo, é vantajoso conceder que as teorias possam ter estruturas maleáveis, o que traz a vantagem adicional de evitar que se descarte as que são promissoras, mas que ainda não estejam bem estruturadas dos pontos de vista da interação entre os conceitos e fatos que a constituem (Pickett et al., 1994).

A aproximação da filosofia do conhecimento à ciência deve ser facilitada pela elaboração de teorias bem estruturadas e reflexões sobre a validade do conhecimento que estas pretendam estabelecer. Não é por mero acaso que certos cientistas recorrem à filosofia do conhecimento, ou mesmo tornam-se filósofos, à procura de maior entendimento do alcance e limitações do conhecimento proposto pelas teorias de suas disciplinas. Portanto, a reaproximação da filosofia à ciência (associação perdida a partir do século XVII, com a adoção do realismo ontológico pelos cientistas; Delattre, 1992), poderia ocorrer por meio de uma aliança entre filósofos e cientistas para entender as diversas influências que podem afetar a estrutura e a dinâmica de teorias, o que será discutido mais tarde. Enquanto isso vamos vivendo em mundos que interpretam diversamente o que seja "conhecimento". Tal diversidade de concepções seria desejável, não fosse cada uma delas considerada exclusiva pelo seu conjunto de seguidores.

3. A NECESSIDADE DE TEORIAS

Mas não falemos de fatos. Já a ninguém importam os fatos. São meros pontos de partida para a invenção e o raciocínio.
(Borges, J.L. 1999).

Teorizar é o comportamento humano mais complexo e abstrato, mas com o propósito bem definido de tentar apreender a realidade (ou realidades). Pode ser de certa forma útil lembrar que a teoria não é realidade, mas versa sobre ela (Otte, 1991). Pode-se também lembrar o realismo ontológico de Popper, que admite a existência de um “mundo” do conhecimento no sentido objetivo (onde as teorias se localizariam) que, mediado pelo “mundo” dos estados de consciência (onde os nossos sentidos se localizariam), expressa o entendimento sobre o “mundo” dos objetos e grandezas físicas do universo (Tabela 1) (Popper & Eccles, 1995).

Tabela 1- Os mundos do conhecimento segundo Popper e Eccles

MUNDO 1	Objetos e grandezas físicas	1. INORGÂNICO: matéria e energia do cosmos 2. BIOLOGIA: estrutura e ação de todos seres vivos: cérebro humano 3. ARTEFATOS (produtos artificiais) Substratos materiais da criatividade humana, das ferramentas, das máquinas dos livros, dos trabalhos de arte, da música
MUNDO 2	Estados de consciência	Conhecimento subjetivo Experiências de percepção, pensamento, emoções, intenções dispositivas, memórias, sonhos imaginação criativa
MUNDO 3	Conhecimento no sentido objetivo	Herança cultura codificada sobre substratos materiais filosóficos, teológicos, científicos, históricos, literários, artísticos, tecnológicos, sistemas teóricos, problemas científicos, argumentos críticos

Um exame superficial do quadro acima poderia deixar a falsa impressão de que talvez os conteúdos dos mundos de Popper pudessem ser independentes e auto-inteligíveis, uma vez que suas fronteiras estariam supostamente bem delimitadas. A despeito dos que não seriam capazes de lhes reconhecer as interações, essas existem. Não poderia ser de outro modo, caso contrário a compreensão da natureza seria dependente do que está contido nas fronteiras estreitas dos conhecimentos especializados que demarcam os limites artificiais de cada um dos mundos.

A proliferação excessiva de especialidades do conhecimento produz efeitos indesejáveis para uma formação intelectual e construção de uma visão de mundo mais universal. A "barbárie do especialismo" (Ortega Y Gasset, 1984) faz com que a busca de integração entre teorias se torne necessária. Pois só por meio de teorias mais abrangentes fugiremos da tirania dos casos particulares que são legitimados pela existência de fatos empíricos pontuais.

À medida que a fragmentação do conhecimento trafega pelas avenidas da pós-modernidade, cresce o injustificado tom pejorativo de certos "práticos" quando se referem aos teóricos, até mesmo em universidades e institutos de pesquisas. Aqueles costumam associar a teorização com o suposto alheamento dos teóricos frente aos "problemas práticos". Porém, não se dão conta de que teorizar não significa viver com a cabeça nas nuvens pesquisando o sexo de anjos, mas é uma atividade indispensável para se apreender a natureza do universo e influenciar na vida "prática". Basta lembrar que, embora a maioria dos objetos e instrumentos possam ser aperfeiçoados pelos inventores, para atender melhor a necessidades práticas, a sua existência só é possível porque foram teoricamente concebidos. O simples clarão de uma lâmpada acesa pode servir para lembrar quanta teoria foi concebida para que este pudesse tornar-se realidade.

Talvez fique mais clara a importância da teoria se atentarmos para a distinção de Suppe (1979) entre categorias observadas diretamente e os termos teóricos que não podem sê-lo. As primeiras são, por exemplo, vermelho, quente, duro, água, ferro e núcleo celular e os últimos, campo elétrico, átomo, carga, gene e massa. Os termos teóricos são elaborações conceituais absolutamente necessárias para se entender a natureza e o comportamento das categorias concretas. A

conexão entre a eletricidade e o magnetismo, elaborada por Maxwell, é um dos exemplos de como o avanço teórico amplia a compreensão de fenômenos naturais; neste caso a origem e o comportamento de descargas elétricas. Os computadores e raio laser também não seriam possíveis sem previsões teóricas da física quântica. Esses dois últimos exemplos enfatizam que o emprego da teoria é fundamental para solucionar problemas práticos.

Os “práticos” que me perdoem, mas não haverá mudanças significativas no estado do conhecimento científico - e conseqüentemente da vida prática - sem o desenvolvimento teórico. Há, todavia, retomando o que já foi mencionado acima, questões metafísicas sobre a natureza do homem e do universo cuja compreensão depende das teorias científicas e do questionamento filosófico. Não é possível entender questões muito complexas como: o que é vida (Romeu Cardoso Guimarães), o universo da mente humana (Alfredo Pereira Jr, Isabela Aparecida de Oliveira Lussi e Maria Alice O. Pereira), categorização (Hugo Mari), conhecimento (Francisco Ângelo Coutinho), universo físico (Armando Lopes de Oliveira), o universo do conhecimento sobre o conhecimento (Wilhelm Walgenbach) e a relação entre a neurociência e a educação (Celso Diniz Pereira), apresentadas e discutidas neste livro, sem lançar mão de reflexões sobre a natureza do conhecimento teórico e experimental que nos permite abordá-las.

As razões para que cientistas e filósofos participem ativamente da construção de uma compreensão do universo não são apenas para fornecer subsídios que facilitem a sobrevivência física, mas também para proporcionar sobrevivência intelectual. Esta é tão básica para quem reflete quanto o ar para quem respira. A teoria é para o intelectual como o ar para seus pulmões: embora não se consiga percebê-la como objeto sensível, imaginar que suas previsões sobre o comportamento da natureza possam se cumprir é um meio de se manter viva a capacidade criativa, como a vida se mantém a cada inspiração.

4. AS FUNÇÕES DA TEORIA

A criatura como nós, dotada das limitadas capacidades de uma espécie biológica cuja própria existência aparenta ser radicalmente accidental, como seria possível ter acesso a métodos universalmente válidos de pensamento objetivo? (Nagel, T. 1998).

Para que se compreenda uma das funções de uma boa teoria – resolver e criar novos problemas, segundo Popper - é necessário que sejam explicitadas as diferentes concepções relativas ao conhecimento da natureza. De acordo com Delattre (1992), as concepções fundamentais sobre a natureza, a seguir, seriam comuns a todas as civilizações ocidentais que se preocuparam com a função da teoria:

1. Conhecimento dos princípios-fundamentais, em maior ou menor abrangência, universais, considerados como condicionantes dos fenômenos naturais observáveis. Um exemplo de um princípio fundamental na biologia é o princípio, às vezes chamado lei ou até mesmo teoria, de evolução por seleção natural;
2. Conhecimento das regras de implicação ou dedução das conseqüências dos princípios fundamentais no universo manifestado. As regras de implicação do princípio de seleção natural no universo manifestado são apenas três que se verificam como propriedades dos seres vivos e são condições necessárias e suficientes para que ocorra a seleção natural: a) se em uma população há variações em alguma característica entre os indivíduos que a compõem; b) se há uma relação consistente entre a característica e a capacidade de acasalamento, fertilização, fecundidade e/ou sobrevivência isso resulta em diferenças de aptidão darwiniana, ou seja, indivíduos diferentes terão diferentes probabilidades de sobreviver e de produzir números diferentes de filhos; c) se há uma relação consistente, para a característica em questão entre os pais e seus filhos (geneticamente transmissível), a qual é pelo menos parcialmente independente de efeitos ambientais que possam agir em comum sobre ambos;

3. Observação dos fenômenos e definição explícita dos meios que seriam considerados válidos para essa observação. Nesse caso, os meios seriam os métodos para verificar se a seleção natural ocorre. Há pelo menos 11 métodos diferentes de detectar a ocorrência de seleção natural em condições silvestres (Endler, 1986);
4. Estabelecimento da correspondência entre as regras de implicação ou dedução das conseqüências e as observações e a definição explícita das condições a satisfazer para que se considere a correspondência satisfatória. Nesse caso, deve haver uma estreita correspondência entre as condições necessárias e suficientes para que ocorra seleção natural e as observações do comportamento de seres vivos em condições naturais;
5. Concepções particulares referentes à importância relativa e às relações de dependência ou de origem dos quatro temas precedentes

As concepções acima são essenciais para sustentar o conhecimento científico da natureza em bases racionais. Em outras palavras, essas seriam o “esqueleto” das teorias, o arcabouço que mantém a coerência lógica do conhecimento.

Entretanto, cabe distinguir a função do conhecimento daquela desempenhada por outras concepções correlatas. “*Conhecimento*” diz respeito ao conjunto de teorias que são mais ou menos aceitas por consenso, pois mostram uma certa correspondência consistente entre a estrutura lógica de suas conjecturas e as observações ou experimentos que se façam para lhes aferir a consistência. Por sua vez, a “*explicação*” é um processo do domínio da linguagem que pode desencadear uma mudança no estado de consciência em quem a processe e ajuste às suas próprias experiências e expectativas cognitivas. Essa mudança de estado de consciência, que se atinge por meio de explicações científicas, é o que se chama compreensão (Pickett et al., 1994).

O objetivo principal de uma boa teoria deve ser o de ampliar a abrangência da compreensão sobre a natureza dos fenômenos do universo. Nesse sentido e em oposição a Popper e outros filósofos,

que atribuem à teoria uma função explicativa, eu diria que a teoria não “*explica*” nada. A teoria é indispensável para que a compreensão científica se efetue. A explicação seria um mero acessório coadjuvante dessa compreensão. Por isso, explicações podem ser tão diversas quanto descartáveis na medida em que podem ser substituídas por outras mais detalhadas ou que incluam pressupostos, conceitos ou generalizações de teorias de outras áreas do conhecimento. Um exemplo deste último caso seria explicar transformações evolutivas ocorridas em faunas ou espécies ao longo das eras e períodos geológicos, considerando-se os diferentes estratos das rochas que formam a crosta terrestre, os quais correspondem a diferentes idades “geológicas”.

5. ESTRUTURA E DINÂMICA DE TEORIAS

Atrás do voo dos patos seguem os restos do dia (Manoel de Barros, 1991).

Em geral as teorias nascem, desenvolvem-se, envelhecem e quando morrem são sepultadas (algumas sujeitas a exumação) em uma espécie de cemitério de teorias. As que persistem não conservam geralmente suas formas originais (exceto nas bibliotecas), por isso a compreensão do universo está e estará sempre sujeita a reparos.

Considerando-se o “ciclo de vida” de teorias, não se deve assumir uma atitude conformista de que não se chegará a um conhecimento definitivo, mas, sobretudo, deve-se aceitar a inevitável existência desses ciclos “naturais”. Este é um desafio a uma participação mais ativa de cientistas e filósofos na construção de um conhecimento cada vez mais aperfeiçoado.

Uma postura conformista pode contribuir para que se aceite a existência de um universo que se comporte exatamente de acordo com teorias mais aceitas, mas que nem por isso representam o melhor conhecimento. Sempre deve ser lembrado que com o passar dos tempos geralmente as teorias mostram suas imperfeições. Em palavras de Popper, essa atitude conformista seria “... uma maneira intelectualmente confortável de viver, embora não muito excitante” (Popper e Eccles, 1995).

Teorias mudam à medida que lhes são adicionados componentes conceituais e fatuais, o que lhes imprime uma dinâmica interna de modificações estruturais. Outras podem permanecer originais por um longo tempo porque suas previsões sobre o comportamento dos objetos físicos, químicos e biológicos do universo se cumprem em diferentes escalas de tempo e espaço. A mecânica newtoniana é exemplar para essa situação. Todavia, neste caso, a despeito do seu sucesso e validade em explicar o comportamento de objetos no espaço e tempo cotidiano e cósmico, Newton desconhecia a natureza da “força” da gravidade. Foi necessário que Einstein modificasse a teoria da gravitação universal de Newton para poder explicar que a gravidade é a curvatura do espaço-tempo provocada por corpos de grande massa que por isso exercem atração gravitacional, como o sol o faz sobre os planetas de nosso sistema solar (Greene, 2000). Pode também acontecer a substituição total de uma teoria por outra, o que chamo de “dinâmica externa” de teorias, como ocorreu à teoria de Jéan Baptiste Lamarck sobre a herança de caracteres biológicos adquiridos, substituída pela teoria de modificação por descendência por meio da seleção natural proposta por Darwin-Wallace.

A substituição de uma teoria mais correta por outra incorreta pode ser causada também por influências ideológicas. Um caso exemplar ocorrido na biologia russa foi o da vernalização, processo de resfriamento de sementes que supostamente provocaria mudanças nas qualidades nutricionais de plantas que delas se originassem, independentemente de sua constituição genética. Um tipo de Lamarckismo, defendido por Lysenko, agrônomo russo muito influente junto aos dirigentes do partido comunista, que acreditava na importância da vernalização para o aumento na produção de alimentos vegetais. Lysenko dizia que as descobertas da genética de melhoramento de plantas não teriam sucesso para essa finalidade, pois a genética seria uma ciência capitalista. Por isso, houve um atraso de décadas no desenvolvimento dessa ciência na Rússia comunista. Este, portanto, é um exemplo da história das ciências que mostra como o ambiente ideológico pode favorecer a aceitação de certas teorias, sejam elas corretas ou não.

As interpretações e usos de conceitos e fatos, no domínio de uma teoria, podem ser afetadas, portanto, por acontecimentos sociais, independentemente da consistência interna que a interação lógica entre conceitos e fatos lhe proporciona. Como o exemplo de Lysenko,

a história da ciência registra muitos outros casos. Vale mencionar dentre eles a forte resistência à teoria de Darwin-Wallace, liderada por religiosos e acadêmicos na Inglaterra vitoriana, e a similar moderna dos religiosos fundamentalistas que se opõem ao ensino da evolução em escolas de ensino secundário em certos estados dos E.U.A. Porém, nesse caso a teoria de seleção natural como principal mecanismo de evolução resiste a estes ataques principalmente porque ainda não há outra que a substitua.

Nos meios acadêmicos uma influência comum que afeta a dinâmica externa de teorias é a descrença dos cientistas em teorias que não tenham, por limitações instrumentais ou outras quaisquer, condições de serem testadas experimentalmente ou que sejam incorretas em seus detalhes. Este foi o caso da teoria de Alfred Wegener, no início do século passado. O esboço de sua teoria original sobre a deriva dos continentes, muito embora incorreta em vários detalhes, serviu como base para a teoria de tectônica de placas, que é hoje aceita para explicar tal fenômeno (Pickett et al., 1994). Um caso atual na física é o da teoria de supercordas, ainda sem evidências experimentais, cujos proponentes pretendem entusiasticamente que possa unificar a mecânica quântica e a celeste em uma única "teoria de tudo" (Greene, 2000). A influência de contingências históricas na substituição de teorias já foi bem discutida por Thomas Kuhn (1975), em seu *Estrutura das Revoluções Científicas*. Dizia Kuhn que se a história fosse encarada como algo mais do que meros registros de datas, poderia promover uma transformação radical na imagem da ciência.

Nagel (1968) disse que *teoria* é "um conjunto de conjeturas sobre o inobservável (Oliveira, comunicação pessoal, crê válida a proposição de Nagel apenas para os chamados princípios primeiros ou axiomas, que são as causas primeiras, fundamentos do conhecimento ou leis gerais que explicam o funcionamento da natureza, por exemplo, "o todo é algo mais do que a simples soma de suas partes", todas as vezes que as emergências estão sendo consideradas). O mesmo não aconteceria com as leis mais específicas, casos particulares de leis gerais, consideradas válidas apenas se forem corroboradas por meio de observação ou experimentação.

Todavia, uma distinção entre generalização empírica e teoria talvez ajude a compreender um aspecto fundamental desta quando consideramos sua capacidade de permitir que sejam efetuadas

previsões. As generalizações empíricas permitem que se faça previsões, mas estas são totalmente dependentes da evidência: se a estrela d'alva foi a primeira a aparecer no céu na noite passada, será a primeira a aparecer na próxima. Já a abstração e coerência das teorias lhes conferem um tipo muito peculiar de previsibilidade. Em biologia evolutiva, por exemplo, conhecer a aparência de uma certa espécie de planta capacita-nos prever como será a aparência das plantas resultantes de suas sementes, antes mesmo que nasçam. A teoria de Kepler nos permite prever o comportamento de novos objetos celestiais, luas, por exemplo, que eram desconhecidos na época em que a teoria foi formulada (Gopnik & Wellman, 1994).

Devido as peculiaridades da organização da estrutura de teorias (conceitos e fatos que formam seu arcabouço estrutural) e ao contrário do que muitos cientistas afirmam, as teorias e suas hipóteses não podem ser diretamente testadas. Não é possível testar-se empiricamente o conjunto de afirmações que formam as teorias e hipóteses. Somente as previsões (expectativas de acontecimentos fatuais demonstráveis) que se depreendem das hipóteses podem ser empiricamente testadas. Como exemplo, se pensarmos que a existência de pelos rígidos na superfície de folhas de uma certa planta poderá impedir que essa seja comida por uma lagarta de borboleta, temos uma hipótese sobre uma possível função desses pêlos, mas que nesta forma ainda não pode ser testada. Se nossa hipótese for correta, podemos imaginar que na ausência dos pelos a folha poderia ser comida pela lagarta. Munidos de uma lâmina de barbear, poderemos retirá-los da superfície de algumas folhas e verificar se estas serão comidas em maior proporção do que as suas vizinhas peludas. Assim, estaremos testando a previsão de que, caso seja correta a nossa hipótese, as folhas sem pelos deverão ser comidas em maior quantidade que as demais.

De modo análogo, um átomo ou um gene não podem ser diretamente observados, porém várias previsões, testadas experimentalmente, sobre o comportamento que deveriam apresentar em circunstâncias determinadas, são a favor de que devem existir. Também não é possível observar-se um fóton, mas podem-se medir desvios em suas trajetórias, como ocorreu em várias ocasiões planejadas para testar as previsões de Einstein sobre a existência da curvatura do espaço-tempo do universo (Greene, 2000).

As hipóteses são os componentes da teoria que permitem estabelecer conexões entre conceitos e fatos. Elas funcionam como janelas que se abrem para permitir o diálogo entre as conjecturas da teoria e os objetos e fenômenos observáveis (Pickett et al., 1994). É importante também estabelecer a distinção entre teoria e método: a teoria é síntese e método análise. Por isso, o método, se correto, não substitui a teoria como fonte de conhecimento; será sempre e tão somente um valioso aliado que garante ser plausível e consistente o conhecimento científico que ela propõe. Podemos dizer que a objetividade do método de avaliação reduz a interferência de interpretações subjetivas. Aliás, o estímulo à busca da compreensão por meio da teoria é que justifica a existência do método e os fatos empíricos que ele permite identificar.

Embora muitos cientistas não se preocupem em distinguir entre teoria e modelo, a primeira é hierarquicamente superior ao segundo. O *modelo* é em geral um componente da teoria com um certo nível de organização conceitual derivado e por isso mais complexo do que o de outros componentes da teoria, como os conceitos simples e as definições, que também fazem parte da estrutura dos modelos. Todavia, a estrutura de uma teoria pode conter mais de um modelo, mas é possível que um modelo seja em certo estágio de desenvolvimento da teoria o seu componente mais complexo. Uma teoria madura e abrangente, como a teoria de evolução por seleção natural, contém vários modelos que descrevem situações específicas, mas complementares, objetos de conhecimento em diferentes disciplinas, como, por exemplo, genética, ecologia, paleontologia e geologia. Nesse ponto é importante enfatizar que quanto mais claras forem as distinções entre as funções que cada um dos componentes conceituais e fatuais exerce na estrutura de uma teoria (por exemplo, a função da generalização empírica confirmável), melhor será a compreensão de que esses componentes devem ser bem integrados, para que a teoria tenha uma estrutura coesa e uma dinâmica de evolução consistente para atingir a maturidade.

Um modo de se ter essa compreensão seria usar um modelo de análise da estrutura de teorias tal como o proposto por Pickett et al. (1994) para compreender a natureza das teorias ecológicas, mas que em minha opinião pode ser generalizado. O modelo, além de propor que conceitos e fatos constituam de um modo integrado o arcabouço de uma teoria, também apresenta meios de se verificar o seu grau de

maturidade e abrangência. Especialmente para os ecólogos, esse modelo lhes permite analisar o estado das teorias com que estejam lidando e deste modo promover avanços teóricos mais consistentes. Isso é importante para a ecologia que é uma ciência relativamente jovem. Desse modo é possível avaliar as vantagens e restrições de teorias nas quais a falta de componentes conceituais e fatuais ou de integração entre eles afetaria o arcabouço lógico, coeso e consistente, necessário para ampliar a compreensão sobre um determinado domínio do conhecimento. Além disso, a análise permitiria reconhecer as possíveis causas de mudanças na teoria: a mudança da compreensão em uma área do conhecimento pela falta de teoria ou de alguns de seus componentes; necessidade de refinamento de uma teoria como um todo ou de alguns de seus componentes; a teoria pode ser rejeitada ou substituída e por último, o domínio de uma teoria pode ser ampliado para incluir fenômenos novos ou para abranger fenômenos que inicialmente pareciam estar fora do domínio original. Isto porque toda teoria versa a respeito de um fenômeno ou conjunto de fenômenos correlacionados que caracterizam a sua abrangência ou domínio de compreensão. Uma teoria quando é elaborada tem em geral um domínio restrito de atuação que pode ser ampliado caso ela tenha potencial para que isso aconteça. "Teorias de tudo" seriam as de domínios mais amplos possíveis, isto é cobrindo a mais ampla diversidade de fenômenos conhecidos.

Exceto nos casos em que são deliberadamente focalizados domínios de conhecimento limitados - no caso de teorias aplicadas a fenômenos de ocorrência temporal e espacial restritos - o interesse principal dos teóricos é o de formular teorias que abranjam domínios os mais amplos possíveis.

Os raros cientistas, ou equipes de cientistas, que conseguiram formular teorias abrangentes, tais como Newton, Einstein e Darwin e físicos quânticos, têm em comum o fato de que os componentes conceituais e fatuais da estrutura de suas teorias são de tal forma bem articulados que as tornam bem consistentes. Em outras palavras, proporcionam a elaboração de previsões que se cumprem efetivamente em escalas espaço-temporal amplas.

Porém, à maioria das teorias falta essa consistência que lhes permita tais previsões "robustas". Para serem consistentes, os conceitos simples de suas estruturas devem se relacionar aos conceitos

complexos, estes às definições, generalizações confirmáveis, leis, modelos, hipóteses e previsões. Por exemplo, caso se deseje teorizar a respeito de um fenômeno qualquer referente a uma árvore ou a uma estrela (componentes conceituais simples) e se queira generalizar para árvores e estrelas em geral, é preciso que esse fenômeno seja bem definido. Caso contrário, a generalização não pode ocorrer, exceto se a singularidade do objeto de estudo for indicada sem ambigüidades. Da mesma forma, a capacidade de ampliar a compreensão dos modelos e leis (componentes da teoria conceituais derivados) é afetada negativamente pela falta ou integração deficiente entre os conceitos, definições, generalizações e os fatos que as legitimaram. A clareza dos conceitos e definições sobre um fenômeno é, portanto, fundamental para que os fatos referentes ao domínio específico da teoria possam ser distinguidos de outros fatos. Porém, esses só têm importância quando diretamente relacionados às predições das hipóteses que compõem a teoria. Por isso, são as perguntas sobre o comportamento ou natureza de um determinado fenômeno que orientarão a procura dos fatos que o caracterizem de forma adequada. De modo complementar, o que deve ser esperado das observações e experimentos (planejados para verificar se as previsões geradas pelas hipóteses se cumprem) é que possam alcançar a melhor verossimilhança possível, isto é a melhor representação do que se espera que seja a realidade.

Não se apreende a realidade, mas infere-se sobre ela porque nossas limitações sensoriais nos impedem de apreendê-la *in totum*. Nessa perspectiva, o papel indispensável da elaboração de hipóteses e previsões sobre o comportamento da natureza se revela com nitidez: permitir o acesso a possíveis realidades. Por isso a multiplicidade de teorias sobre um determinado domínio amplia a capacidade de compreensão, ao contrário do que se acreditou até recentemente, que de um conjunto de fatos empíricos bem registrados pudesse por encanto emergir uma única teoria (Oliva, 1994). Concluindo, se não é possível o acesso direto à realidade, sobre o que não há consenso entre filósofos e cientistas, resta-nos aproximar dela elaborando teorias. O que em outras palavras significa criar possibilidades de compreensão científica da suposta realidade do universo seja ele singular ou não.

A dinâmica de elaboração de teorias é fortemente influenciada pela intuição dos cientistas. Nessa fase de elucubração pré-teórica muitas vezes se desenha o embrião da teoria que posteriormente se desenvolverá com a adição de componentes conceituais e fatuais necessários para sua maturação formal em leis e modelos. Todavia, essa percepção intuitiva do embrião da teoria não é fortuita, como alguns podem tender a acreditar, mas própria de mentes reflexivas e empenhadas em encontrar respostas satisfatórias a perguntas (hipóteses) sobre o comportamento da natureza.

Pode-se argumentar que o modelo de estrutura de teorias de Pickett et al. (1994) nada acrescentaria, pois é rotina a verificação da consistência das teorias pelos cientistas. De fato isso realmente ocorre, mas de um modo parcial e não inteiramente consciente como o discurso dos cientistas pode levar a crer. O aprendiz de cientista aprende do cientista-feiticeiro alguns segredos do fazer científico, inclusive como verificar a consistência das teorias. Mas também adquire seus próprios segredos que mantém exclusivos e assim forma escolas e funda revistas científicas mantidas de acordo com critérios elaborados pelos iniciados. Há até exemplo de um cientista que fundou uma revista nova e no primeiro número publicou um trabalho de sua autoria que tinha sido recusado pelo editor de outra revista de uma sociedade científica influente.

A vantagem de utilizar esse modelo para análise da estrutura e dinâmica de teorias é que ele ajuda a reduzir essa exclusividade e a aperfeiçoar as teorias, caso os aprendizes de cientistas o utilizem não com o intuito apenas de enaltecer as virtudes das teorias em que acreditam, mas, sobretudo, para expor as suas fraquezas. Exemplar é o caso de Darwin (1978) no livro "*A Origem das Espécies*". O notável naturalista apresentou sua teoria de evolução por meio de seleção natural, expondo em primeiro lugar as dificuldades para aceitá-la e em seguida os argumentos a favor de sua aceitação. Por sua vez, os aprendizes de filósofos terão com esse modelo de análise de teorias um modo de verificar a natureza do conhecimento que os cientistas propõem como verdadeiros.

Ao reconhecer que os componentes estruturais conceituais e fatuais das teorias devem estar de tal forma integrados, em uma arquitetura claramente singular, Pickett et al. (1994) oferecem aos cientistas naturais, humanos e filósofos um modo prático de se verificar a

utilidade de uma teoria como fonte de conhecimento. A meu ver todos ganharão se aplicá-lo, exceto os que se recusarem a admitir que suas teorias, como produtos de realizações humanas, por mais belas que sejam podem também apresentar falhas, em especial quando for utilizado o argumento de que são as “melhores possíveis”. Por essa razão, as teorias devem ser aperfeiçoadas por quaisquer iniciativas que possam ajudar a libertar a natureza do conhecimento de crenças subjetivas e parciais em “verdades” científicas.

Epílogo

Já havia praticamente concluído este texto e pensava que pudesse chamá-lo de ensaio. Então, chegou-me às mãos, por intermédio de um dos meus alunos de doutorado, o ensaio de Vilém Flusser publicado na edição de 19 de agosto de 1967 do jornal *O Estado de São Paulo*. Flusser discute justamente as diferenças entre tratado e ensaio. Em sua concepção o tratado, apresentado em estilo acadêmico, é o modo formal e corriqueiro que filósofos e cientistas usam para expressar suas idéias e resultados de pesquisas. Porém, o tratadista deliberadamente não se expõe do ponto de vista existencial. O tratado é escrito na terceira pessoa do plural ou na forma impessoal, distanciando-se o autor do enredo como se por alegar “objetividade” resguardasse seu lado existencial. Em palavras do Flusser: “... o estilo acadêmico reúne honestidade intelectual com desonestidade existencial, já que quem a ele recorre empenha o intelecto e tira o corpo”.

Após a leitura, voltei a olhar para esse meu pretenso ensaio em busca de sua identidade. Não pude caracterizá-lo como ensaio, tampouco como um tratado. Quem se aventurar a lê-lo talvez nele encontre presente apenas uma das características do ensaio que considero fundamental, segundo Flusser: o fato de que o texto não resolverá o assunto para o leitor, mas será um enigma que ele deverá solucionar por seus próprios meios.

AGRADECIMENTOS

O convívio com vários colegas e alunos ao longo dos anos me incentivou a pensar sobre teoria. Dentre eles, destaco o biólogo Hélcio Ribeiro Pimenta (in memoriam), o filósofo Wilhelm Walgenbach e os ecólogos Frederico Santos Lopes e Thomas M. Lewinsohn. Este, dentre outras boas sugestões, apresentou-me o livro de Pickett et al. (1994) do qual retirei o modelo de estrutura de teorias apresentado neste capítulo. Apesar de a nossa convivência ter sido até o momento pouco freqüente, aproveitei as boas discussões com o meu aluno de doutorado, Elder F. Morato. Devo a ele também a cópia do texto de Vilém Flusser que me motivou a escrever o epílogo. A convivência e discussões com meus colegas do Grupo de Estudos Interdisciplinares da UFMG, autores deste livro, durante os últimos três anos, tiveram um impacto positivo formidável na ampliação do meu interesse pelo assunto. Agradeço a eles e também a Alfredo Pereira Jr., Carmen Maria De Caro Martins, Rosemary Rodrigues Silva e Rafael Dias Loyola que leram atentamente o manuscrito e com suas críticas pertinentes ajudaram-me a torná-lo mais claro. Devo também registrar que a citação de Jorge Luís Borges encontrei-a em um texto de autoria do prof. Virgílio Fernandes de Almeida, publicado no caderno Pensar do jornal O Estado de Minas, edição de 20/10/2001. Finalmente, agradeço ao CNPq, CAPES/DAAD e FAPEMIG pela concessão da bolsa de produtividade científica e pelos auxílios que me permitiram visitar colegas e universidades no Brasil e no exterior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BARROS, M. *Concerto a céu aberto para solos de aves*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1991.

BORGES, J.L. Utopia de um homem que está cansado - O livro de areia. In: *Obras Completas III*. Porto Alegre: Editora Globo, 1999. p. 1-85.

BARROW, J. D. *Teorias de tudo*. Rio de Janeiro: Zahar, 1994.

BRONOWSKI, J. *As origens do conhecimento e da imaginação*. Brasília: UNB, 1997.

CRANE, D. & SMALL, H. American Sociology since the Seventies: The emerging Crisis in the Discipline. In: TERENCE, Halliday & MORRIS, Janowitz (ed.) *Sociology and its Publics: The Forms and Fates of Disciplinary Organization*. Chicago: University of Chicago Press, 1992, p. 197-234.

DARWIN, C.R. *A origem das espécies*. São Paulo: Hemus, 1978, 471 p.

DELATTRE, P. Teoria/Modelo. In: *Enciclopédia Einaudi. Método – Teoria/Modelo*. Lisboa: Imprensa Nacional, Casa da Moeda, 1992, p. 183-287.

ENDLER, J.A. *Natural Selection in the Wild*. Monographs in Population Biology, 21. New Jersey: Princeton University Press, 1986.

GOPNIK, A & WELLMAN, H.M. The theory theory. In: HIRSCHFELD, L. A. & GELMAN, S.A. (eds.) *Mapping the Mind*. New York: Cambridge University Press, 1994, p. 257-293.

GREENE, B. *O universo elegante*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

HOLLAND, J.H. *Hidden Order – How Adaptation Builds Complexity*. New York: Helix Books, 1996.

HORN, H. All creatures great and small. *Nature*, www.nature.com/nsu/0/10927/010927-12.html. 2001.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1975.

MAHNER, M. & BUNGE, M. *Foundations of biophilosophy*. Berlin: Springer, 1997.

NAGEL, E. *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidós, 1968.

NAGEL, T. *A última palavra*. São Paulo: UNESP, 1998.

NIKLAS, K.J. Size matters! *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 486. 2001.

OLIVA, A. Quanto mais teorias, melhor para a ciência? *Ciência Hoje*, 17(99): 14-17, 1994.

OLIVEIRA, P.M.C. Sistemas complexos. *Ciência Hoje* 16(92): 14-22, 1993.

OLIVEIRA, A. L. de. Ensaio crítico sobre a primeira e a segunda antinomias de Kant. *Síntese*, Belo Horizonte: 28(91):169-187, 2001.

ORTEGA Y GASSET, J. A barbárie do especialismo. *Humanidades* 2(6): 147-148, 1984.

OTTE, M. *O formal, o lógico e o subjetivo*. São Paulo: Unesp, 1991.

PEREIRA, A. P. Jr. *Questões epistemológicas da neurociência cognitiva*. Botucatu: Instituto de Biociências / UNESP, 2001. (Tese de Livre-Docência).

PICKETT, S. T. A., KOLASSA, J. & JONES, C. G.. *Ecological Understanding – The nature of theory and the theory of nature*. New York: Academic Press, 1994.

POPPER, K. & ECCLES, P. *O eu e seu cérebro*. Brasília: UNB/PAPIRUS, 1995.

SUPPE, F. *La estructura de las teorías científicas*. Madrid: Nacional, 1979.

WEST, BROWN & ENQUIST. All creatures great and small . *Nature*, www.nature.com/nsu/0/10927/010927-12.html. 2001.

WILLIAMS, G.C. *Adaptation and natural selection*. New Jersey: Princeton University Press, 1966.

Universo

Armando Lopes de Oliveira
UFMG

1. INTRODUÇÃO

O título desse livro, que você está manuseando ou lendo, é sugestivo, *Universos do Conhecimento*. Isso é uma metáfora¹. O objetivo do presente capítulo é o de apresentar ao leitor uma visão do Universo, não como metáfora, mas no seu sentido original: "O conjunto de tudo quanto existe (incluindo-se a Terra, os astros, as galáxias e toda a matéria disseminada no espaço) tomada como um todo; o cosmo, o macrocosmo²". Acontece que existem vários enfoques possíveis no

¹ Veja Mari, H. Metáfora, metonímia, conotação, denotação: a propósito da migração de conceitos (no prelo)

² Definição que se encontra no Aurélio.

esforço de se *entender*³ o Universo. Adoto, na maior parte do presente capítulo, um enfoque ou uma postura *reducionista*⁴ (seções 2 a 11), numa tentativa de procurar entender: quais são os ingredientes *ínfimos*, ou seja, quais são as *partículas fundamentais* de que se compõe a matéria do Universo (seção 2); que *forças fundamentais* entram em jogo, unindo-as ou dispersando-as (seções 3 a 5); qual é a gênese física do Universo (seção 6); quais são a escala, a métrica e os postulados das diferentes teorias da física, desde a clássica ou newtoniana (seção 8), passando pela relativística (seção 9) e quântica (seção 10), até me lançar ao esboço da teoria das cordas, elegante elaboração matemática, ainda destituída de comprovação experimental (seção 11). Nas últimas duas seções o meu enfoque é *holístico*⁵, quando abordo a escala, a métrica e os postulados da complexidade, dos fractais e do caos (seção 12) e finalmente quando apresento conceitos e exemplos de auto-organização, de criticalidade e de leis de potência (seção 13).

O leitor já iniciado nos conteúdos das seções acima mencionadas, ou mesmo não iniciado em nenhum deles, mas com curiosidade ou interesse específicos, poderá passar diretamente à leitura de qualquer uma delas. No meu entender, trata-se de seções *quase auto-suficientes*. No caso de dificuldades ou embaraços, pode-se retroceder à leitura de seções anteriores.

2. OS INGREDIENTES DE CADA COISA

Tudo que se vê na Terra e na abóbada celeste parece ser feito de combinações de *elétrons*, *quarks up* e *quarks down*. Não existe nenhuma evidência experimental de que qualquer uma dessas três partículas seja composta de outras mais elementares. Por outro lado, uma variedade muito grande de experimentos científicos indica a existência de muitas outras partículas de matéria no Universo. Convém passá-las em revista.

³ Um dos autores do presente livro coloca, muito criteriosamente, como objetivo de toda e qualquer teoria o *entendimento* de alguma coisa e não a sua *explicação* (ver Martins, 2002, neste livro).

⁴ Enfoque *reducionista* significa procurar entender o *todo* a partir de suas partes.

⁵ Tentativa de se entender as partes a partir do todo.

No final dos anos 30, do século XX, uma partícula denominada *múion*, com mesma carga que a do *elétron*, mas cerca de duzentas vezes mais pesada, foi descoberta por físicos que estudavam os raios cósmicos, chuvas de partículas que bombardeiam continuamente a Terra a partir do espaço exterior. Problema algum, ainda não resolvido, em física de partículas, demandava a sua existência. Eis porque o físico Isidor Isaac Rabi, ganhador de prêmio Nobel, saudou a descoberta do *múion* com muito pouco entusiasmo: "Quem foi que encomendou isto?", perguntou ele na ocasião⁶.

O *neutrino* foi descoberto em meados da década de 50, do século passado. Sua detecção é extremamente difícil⁷, sendo uma espécie de partícula fantasma, que muito raramente interage com qualquer outro tipo de matéria, participando apenas de interações devidas a forças nucleares fracas⁸. Um *neutrino*, dotado de energia de alguns MeV⁹, pode atravessar facilmente blocos de chumbo com a espessura de muitos trilhões de quilômetros sem experimentar a menor perturbação em seu movimento. No intervalo de um simples segundo, bilhões de *neutrinos* lançados ao espaço pelo sol atravessam os nossos corpos, assim como toda a Terra, em longas e solitárias viagens pelo cosmo.

⁶ Com o desenvolvimento posterior, seja da física experimental ou aplicada, seja da física teórica, surgiu a convicção de que nenhuma partícula que se descobre é inútil. A *muônica*, por exemplo, constitui técnica sofisticada para se estudarem fenômenos da matéria, além de possibilitar a *rematerialização* da energia, sob a forma de um *muon* de carga positiva e outro de carga negativa, após ter havido *aniquilamento* de par *pósitron-elétron* e a conseqüente emissão de radiação γ . Mais adiante trato de novo de *aniquilamento*.

⁷ Os *neutrinos* são detectados indiretamente, figurando como termo do balanceamento energético no fenômeno de decaimento β resultante da colisão de *neutrons* com *prótons*.

⁸ Em outra seção abordaremos, em detalhe, as quatro forças elementares existentes na natureza: a *gravitacional*, a *eletromagnética*, a *nuclear fraca* e a *nuclear forte*.

⁹ $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$. O que é *eV*? (Lê-se *elétron-Volt*!). É o produto do valor da carga elétrica elementar, *e*, (= carga elétrica de um *elétron* = $1,60 \times 10^{-19}$ Coulomb) por uma diferença de potencial elétrica de 1 Volt. Múltiplos e submúltiplos do *elétron-Volt* constituem maneiras confortáveis para se expressarem medidas de energia em Física Nuclear, Eletrônica e Física de Partículas.

A utilização de tecnologias cada vez mais poderosas e de energias cada vez mais altas, recriando condições que nunca mais tinham ocorrido após o *Big Bang*, permitiram que os físicos de partículas estabelecessem novas listas de partículas: quatro outros *quarks* — *charm*, *strange*, *bottom* e *top* — outro primo do *elétron*, ainda mais pesado que o *múon*, o *tau*; duas partículas com propriedades semelhantes às do *neutrino*, e por isso mesmo chamadas de *neutrino do múon* e *neutrino do tau*, para serem distinguidas do *neutrino* descoberto anteriormente, que passou a ser conhecido como *neutrino do elétron*.

Citamos *partículas de matéria*, mas existem também as *partículas de antimatéria* ou *antipartículas*. Cada partícula tem uma *antipartícula* que lhe corresponde como par, possuidora de mesma massa, mas oposta a ela em outros aspectos, como a carga elétrica. Para dar apenas um exemplo: a *antipartícula* do *elétron* chama-se *pósitron*, tem a mesma massa do *elétron*, mas a sua carga elétrica é $+1$ em vez de -1 . Quando uma partícula de matéria entra em contato com a sua partícula de antimatéria correspondente, elas podem se aniquilar, tendo como efeito radiação de energia. Um exemplo: ao entrarem em contato *elétron* e *pósitron* se aniquilam e, no lugar deles, aparece radiação γ . A partir do *Big Bang* estabilizou-se no universo a *matéria* e não a *antimatéria*. Isto ainda constitui um enigma não resolvido. As *anti-partículas* podem se combinar. Em 4 de janeiro de 1996, no CERN, o Centro Europeu para Pesquisa Nuclear em Genebra, foram fabricados artificialmente nove átomos de *antihidrogênio*.

Existem três grupos de *famílias*, nas quais as partículas de matéria se enquadram claramente. Cada *família* se constitui de dois *quarks*, um *elétron* ou um de seus *primos*, e um exemplar do *neutrino* correspondente. Os tipos correspondentes das partículas de cada *família* apresentam propriedades idênticas, tais como valores das cargas elétricas e dos *spins* nucleares, as suas massas constituindo a única exceção, pois elas aumentam à medida que se passa de uma família para outra.

Observando-se a tabela 1, outros espantos se acrescentam ao de Rabi, por ocasião da descoberta do *múon*. Por que existem tantas partículas fundamentais, se praticamente tudo que há no Universo parece não requerer mais que *elétrons*, *quarks up* e *quarks down*? Por que as

partículas fundamentais, de uma família para outra, apresentam uma variedade tão grande nos valores de suas massas? Por exemplo, o *tau* pesa 3.520 vezes mais que o *elétron*; o *quark top* pesa 40.200 vezes mais que o *quark up*.

Tabela 1 – As três famílias de partículas elementares e suas massas de repouso¹⁰ (em múltiplos da massa de repouso do próton). Os valores das massas de repouso dos neutrinos ainda não puderam ser determinados experimentalmente.

Família 1		Família 2		Família 3	
Partícula	Massa	Partícula	Massa	Partícula	Massa
Elétron	0,00054	Múon	0,11	Tau	1,9
Neutrino do elétron	$<10^{-8}$	Neutrino do múon	$<0,0003$	Neutrino do tau	$<0,033$
Quark up	0,0047	Quark charm	1,6	Quark top	189
Quark down	0,0074	Quark strange	0,16	Quark botton	5,2

3. AS QUATRO FORÇAS FUNDAMENTAIS

Interações acontecem a todo momento e em toda parte: quando respiro, inspirando ou expirando ar; quando chuto uma bola; quando a tela de um televisor é bombardeada por feixes de *elétrons*, formando imagens; quando trens super-rápidos trafegam, levitando em campos magnéticos, sem contato com os trilhos; quando o vento arranca para longe o guarda sol sob o qual eu me protegia contra o sol na praia;

¹⁰ Quando se fala simplesmente de massa, subentende-se que se está falando de massa de repouso, ou seja, da massa de uma partícula que pode ser considerada como estando em repouso, em relação a algum referencial, como é o caso, por exemplo, de *prótons* e de *quarks*. Existem, no entanto, certas partículas, como, por exemplo, os *fótons*, que não admitem referencial algum, em relação ao qual, possam ser consideradas em repouso. Tais partículas possuem, todavia, *massas de movimento*, conquanto *carreguem* um outro tipo de inércia, não a do repouso, mas a do movimento. Voltaremos a esse assunto na seção 7.

quando alguém dispara um tiro de fuzil. Acontece que no Universo, por mais diferentes que pareçam ser as diversas *interações*, elas colocam em jogo apenas quatro forças fundamentais, a saber, a *gravitacional*, a *eletromagnética*, a *forte* e a *fraca*. Se quisermos dar uma definição *ostensiva* de força, seja ela de que natureza for, só o podemos fazer a partir de um *efeito* dela, que será sempre um *puxão* (pensemos numa mola ao ser distendida), ou um *empurrão* (pensemos numa mola ao ser comprimida).

A força *gravitacional*, comparada com as outras três, é a mais conhecida. Sob seu efeito: objetos caem de nossas mãos, quando nos distraímos ou somos desastrados; levamos tombo ao tropeçar; a atração gravitacional do Sol mantém a Terra e os outros planetas em suas trajetórias elípticas. Em segundo lugar, pela ordem daquilo que nos é mais familiar, vem a força *eletromagnética*. Ela é responsável tanto por artefatos que nos dão conforto na vida moderna — ferro de passar roupa, forno de micro-ondas e televisor, para citar apenas alguns exemplos — como por vários fenômenos naturais, desde raios devastadores que caem em dias de fortes tempestades, como por pequenas e inofensivas descargas elétricas que podemos sofrer, em dias secos de inverno, quando nossa mão se aproxima de maçanetas metálicas de portas para tentar abri-las.

As forças *forte* e *fraca* são mais distantes da nossa experiência cotidiana, porque só se manifestam na escala das distâncias subatômicas. Elas são de natureza nuclear. A força *forte* mantém *quarks* aprisionados dentro dos *prótons* e dos *nêutrons*, e, por outro lado retém *prótons* e *nêutrons* comprimidos dentro dos núcleos atômicos. A força *fraca*, quando rompida, é responsável pela emissão de elétrons de origem nuclear e de neutrinos, bem como pela desintegração radioativa de certos elementos químicos como o urânio e o cobalto.

No decorrer do século XX, os físicos descobriram dois aspectos importantes das quatro forças: i) a nível microscópico, a cada uma delas se associa uma partícula; ii) da mesma forma que a *massas* se associam forças *gravitacionais* e a *cargas elétricas* correspondem forças *eletromagnéticas*, as partículas fundamentais são dotadas de *cargas fortes*, responsáveis por forças *fortes* e de *cargas fracas*, determinantes das forças *fracas*. Convém detalhar tudo isto mais um pouco.

4. O GRAVITACIONAL, O ELETROMAGNÉTICO, O FORTE E O FRACO

Comparadas com as forças *eletromagnéticas*, as forças *gravitacionais* são muito pouco intensas. Só massas muito grandes são capazes de exercer forças *gravitacionais* perceptíveis macroscopicamente. Um exemplo: a Terra, cuja massa é da ordem de 10^{25} quilos, exerce sobre o meu corpo uma força *gravitacional* capaz de provocar *puxão* sobre a plataforma da balança de uma farmácia, acusando que estou com 83 quilos. Agora quem não fica pasmo? As forças *eletromagnéticas* são 10^{42} vezes mais fortes que as forças *gravitacionais*.

A título de comparação pense no seguinte: o lado esquerdo de uma balança, por equilíbrio de dois pratos, representa a intensidade da força eletromagnética com que o *elétron* é atraído pelo núcleo de um átomo de hidrogênio, que, como você sabe é constituído de apenas um *próton*. Que tamanho deveria ter o braço direito da mesma balança, para se conseguir o equilíbrio, se ele representasse a intensidade da força gravitacional com que o *próton* atrai o *elétron*? Ele deveria ser maior que o diâmetro de todo o universo!

Entre as forças *gravitacionais* e as forças *eletromagnéticas* existe ainda uma outra diferença, além do contraste entre as suas intensidades: as forças *gravitacionais* são sempre *atrativas*, enquanto as forças *eletromagnéticas* podem ser *atrativas* (cargas de sinais opostos) ou *repulsoras* (cargas de mesmo sinal). Existem, além disso, propriedades em comum, compartilhadas tanto por forças *gravitacionais* como *eletromagnéticas*. Ambas são de longo alcance, não havendo, em princípio, limite espacial para a atuação delas. Acrescenta-se ainda que ambas manifestam intensidades que decaem com o quadrado da separação (entre as *massas*, se se trata de forças *gravitacionais*; entre as *cargas elétricas*, no caso de forças *eletromagnéticas*).

Os *prótons*, que se comprimem dentro de um núcleo atômico, experimentam repulsões mútuas de natureza *eletromagnética*. Felizmente forças nucleares *fortes*, de curto alcance e cerca de 100 vezes mais intensas que as forças *eletromagnéticas*, e aproximadamente 100 mil vezes mais intensas que as forças nucleares *fracas*, que também são de curto alcance, dão estabilidade não apenas aos próprios *prótons* e *nêutrons*, dentro dos núcleos atômicos (ambos compostos de *quarks*), mas ainda aos próprios núcleos atômicos.

5. O ASPECTO LÚDICO DAS QUATRO FORÇAS FUNDAMENTAIS

As quatro forças fundamentais, mencionadas na seção anterior, estão associadas a partículas, eliminando-se assim o *espantallo* das ações à distância¹¹: ao *gráviton*, para cuja existência não existe ainda evidência experimental, cabe o papel de ser o *mensageiro* das forças de natureza *gravitacional*; o *fóton* é o responsável por forças de origem *eletromagnética*; ao *glúon* se atribui a responsabilidade pela existência de forças *nucleares fortes*; aos *bósons* compete dar origem às *forças nucleares fracas*.

Na tabela 2 figuram as quatro forças fundamentais existentes na natureza e as partículas que as disponibilizam.

Tabela 2 - Forças fundamentais e partículas responsáveis por elas.

Força	Partícula responsável pela força	Massa
Forte	Glúon	0
Eletromagnética	Fóton	0
Fraca	Bósons da força fraca	86 e 97
Gravitacional	Gráviton	0

Com respeito à última coluna, cabem as seguintes observações: i) as massas de repouso estão expressas como valores múltiplos da massa de repouso do próton; ii) as partículas responsáveis pelas forças fracas apresentam-se sob duas variedades de massas de repouso possíveis; iii) estudos teóricos indicam que a massa de repouso do gráviton é nula.

¹¹ A ação direta entre partículas distantes entre si denomina-se *ação à distância*. Na física *clássica* ou *newtoniana* esse problema é contornado com a introdução da noção de *campo*, entendido como *espaço perturbado*, seja gravitacionalmente, seja eletricamente, seja magneticamente.

A introdução do conceito de *partícula disponibilizadora de força* constitui uma maneira elegante de se contornar o problema de *ação à distância*. Imaginemos que um par de *partículas* esteja sendo representado por dois patinadores em trajetórias paralelas, que, em um dado momento, resolvem jogar uma bola um para o outro. As trajetórias paralelas vão se afastar uma da outra, o que equívale a dizer que acontece *repulsão* entre os patinadores. Agora os patinadores resolvem mudar de jogo. O da direita arremessa para a sua direita (= para fora do interior das trajetórias) um *boomerang*. Este dá uma meia volta, atravessa o interior das trajetórias, sai em seguida desse interior, dá de novo uma meia volta e alcança o patinador da esquerda pelo lado de fora das trajetórias, ou seja pela sua esquerda, ele o pega, e dá seqüência ao jogo. Agora o efeito se inverte, as duas trajetórias se aproximam, o que equívale a dizer que se estabelece *atração* entre os patinadores. Resumindo, nestes jogos virtuais: o efeito jogar bola equívale a repulsão; o efeito jogar *boomerang* equívale a atração.

Apresento dois exemplos, para ilustrar a metáfora do jogo, no caso da repulsão. Se se trata de: i) interação *eletromagnética*, os patinadores são, por exemplo, dois *elétrons* (sempre portadores de cargas elétricas -1) ou dois *prótons* (sempre portadores de cargas elétricas $+1$) e a bola é um *fóton*; ii) interação *forte*, os patinadores são, por exemplo, dois *quarks up* (sempre portadores de cargas elétricas $+2/3$) e a bola é um *glúon*.

Ainda outros dois exemplos, para esclarecer a metáfora do jogo, no caso da atração. Tratando-se de: i) interação *eletromagnética*, os patinadores são, por exemplo, um *próton* e um *elétron*, e o *boomerang* é um *fóton*; ii) interação *forte*, os patinadores são, por exemplo, um *quark up* (carga elétrica $+2/3$) e um *antiquark quark up* (carga elétrica $-2/3$), e o *boomerang* é um *glúon*.

6. TUDO COMEÇOU MENOR QUE UM GRÃO DE AREIA

Um ponto sem dimensão, uma singularidade pura, explode contra o nada circundante. Quem narra a estória-história é o Doutor Xistein. Tão ou mais sábio que Einstein. Tão ou mais presente que o nada dos primórdios. Ele é o espectador ideal de tudo, inclusive do início do espaço-tempo, por obra e graça do *Big Bang* ou *Grande Explosão*.

O Doutor Xistein testemunhou tudo. Destituído hipoteticamente tanto de massa de repouso, como de massa de movimento, apresenta-se como um espectador ideal. É onipresente. Estando fora do espaço-tempo consegue abarcá-lo inteiramente, na medida em que é a sua própria negação. Sendo assim, não se mistura com a própria estória que conta.

O Doutor Xistein presencia o *Big Bang* como explosão primeira que cria o espaço-tempo, a partir de um ponto zero, de uma singularidade sem dimensão, explosão essa que se agiganta então, passando por sucessivas eras surdas, sem ruído algum, cegas, escuras, sem lampejo nenhum. O som não se propaga no vácuo, no nada. Por outro lado, embora *fótons* se propaguem no vácuo, eles foram criados tardiamente, tendo-se em conta a escala cosmológica. A estória-história que vai ser contada é a do *Big Bang Quente* ou do *Modelo Padrão*.

Desde a segunda metade da década dos anos 1960, o *Modelo Padrão* é aceito praticamente pela unanimidade dos astrofísicos, o que não impede que diferentes interpretações ou modificações dele estejam continuamente sendo apresentadas.

A descrição das leis físicas, conforme as conhecemos hoje, são limitadas por *dois limiares de Planck*: o do *tempo* (ele deve ser maior que 10^{-43} segundos) e o do *comprimento* (ele deve ser superior a 10^{-35} metros).

Na era que precede 10^{-43} segundos, encontra-se o inacessível. É a chamada *Era de Planck*, na qual leis físicas estranhas e desconhecidas teriam tido o seu império. Atingi-la retrospectivamente seria possível apenas a partir do que se tem costumado chamar de *Teoria de Tudo*, unificadora das quatro forças da natureza, a *gravitacional*, a *eletromagnética*, a *forte* e a *fraca*. A *Teoria de Tudo* tem sido até o momento apenas um sonho teórico.

Retroagindo-se indefinidamente no espaço-tempo, defronta-se com o ponto zero, uma singularidade, um inacessível físico, uma abstração pura, onde dois infinitos se encontrariam: o da curvatura infinita do espaço-tempo, ou seja, o da esfera de raio nulo, e o da bola de densidade infinita. Estranha singularidade aquela do *Big Bang*: sem dimensão e, no entanto, com densidade infinita de matéria! *Big Bang* é

explosão primeira, forte e violenta acima de qualquer escala, mas sem ruídos e sem clarões, ao mesmo tempo surda e cega.

A partir de 10^{-43} segundos, inaugura-se a *Era da Teoria da Grande Unificação*. Passa a haver predominância de *matéria* sobre *antimatéria*. A chamada *Teoria da Grande Unificação* consegue unificar três das quatro forças fundamentais conhecidas, ou seja, a *eletromagnética*, a *forte* e a *fraca*, ficando de fora apenas a *gravitacional*. O Doutor Xistein continua presenciando o universo expandindo-se vertiginosamente, embora em silêncio e encoberto por espesso e negro véu de escuridão.

Os 10^{-35} segundos de existência do Universo marcam o início da *era eletro-fraca*, dominada por quarks e antiquarks. Perdura a silenciosa opacidade de um cosmo ainda terrivelmente denso e totalmente escuro.

Completam-se 10^{-10} segundos. Tudo continua sendo uma incrível fornalha, ainda silenciosa e sem brilho algum. Trata-se da era dos hádrons (sub-partículas atômicas formadas por quarks e/ou antiquarks) e dos léptons (partículas elementares: elétrons, múons e neutrinos, entre outras). Os quarks se confinam formando prótons, nêutrons, mésons e bárions.

O Doutor Xistein está tudo cronometrando. A única incerteza forte que não consegue contornar é a do instante zero. Também pudera. Espaço e tempo têm a mesma métrica. E é claro que o Doutor Xistein conhece as limitações impostas pelo princípio de incerteza de Heisenberg. Como o espaço-tempo poderia estar ali diante dele, se ele teimasse em impor ao *Big Bang* a acessibilidade ao *instante zero*? Tudo o mais ficaria totalmente indeterminado, porque se tornaria infinitamente impreciso em velocidades, e, portanto, em temperaturas: elas refletem nada mais nada menos que valores médios de energias cinéticas de translação das partículas.

A partir do primeiro segundo cósmico, acontece a união de prótons e nêutrons constituindo núcleos de hidrogênio, hélio, lítio e deutério. No mais havia uma profusão imensa de fótons, elétrons e neutrinos (partículas extremamente leves). Trata-se da era das sínteses nucleares dos elementos químicos leves. Continua, no entanto, a opacidade e a

escuridão, devido à persistência de barreiras impostas aos fótons, constituindo uma espécie de *fog cósmico*.

O Universo atinge 3 minutos de existência. O que acontece então? Começa a época em que massa e energia se conjugam e os primeiros átomos estáveis se formam. O Doutor Xistein continua diante do silêncio, e da falta de brilho imposta pela opacidade de um véu negro, inteiramente escuro.

O Universo atinge 300 mil anos de existência. Tudo, no entanto, continua opticamente denso, e, portanto negro e escuro, devido à persistência de barreiras aos fótons. Inaugura-se, no entanto, a transparência à radiação cósmica de fundo, essa que tudo permeia e nos leva a atribuir 2,7 graus Kelvin à temperatura média do Universo como um todo, nos dias de hoje, e a estimar em 10^{32} graus Kelvin a sua temperatura, quando sua idade era de apenas 10^{-43} segundos.

A partir de 1 bilhão de anos de existência, começam a aparecer no Universo aglomerados de matéria formando quasares (objetos *quase estelares*, quase pontuais, lembrando, segundo alguns, buracos negros), estrelas e protogaláxias. Nas fornalhas representadas por estrelas passam a ser sintetizados núcleos de elementos químicos mais pesados. Trata-se da era, a partir da qual, o Universo se torna transparente à radiação eletromagnética, com o desaparecimento de barreiras impostas aos fótons.

O que falar do Universo quando ele entra numa idade de 10 a 15 bilhões de anos? Formam-se novas galáxias. Trata-se de um verdadeiro festival de realidades novas. O Doutor Xistein extasia-se sobretudo com uma sinfonia de luzes e sombras, cujos protagonistas principais são muitos bilhões de galáxias de variadas formas e tamanhos, cada uma delas com incontáveis bilhões de estrelas, muitas delas com planetas movendo-se à sua volta. E o mais surpreendente da estória-história desse nosso universo em construção, ocorre a combinação de átomos para formarem moléculas complexas, propiciando a formação de estruturas com vida.

Cabe aqui uma observação. Não é meu escopo contar a estória-história da vida, e nem para isto me sinto preparado (ver o capítulo de R. C. Guimarães, neste volume).

7. O QUE É MATÉRIA?

Interação invade tudo. Interações físicas revelam propriedades de sistemas materiais. Mas o que é um sistema material? Aquele que, sob qualquer ângulo que o encaremos, ou sob qualquer experimento a que o submetamos, nunca se manifesta livre de *inércia*, seja ela de repouso ou de movimento.

Um exemplo de *inércia* de repouso: lança-se do Cabo Kennedy uma nave espacial com uma propulsão de 3.402.000 quilogramas força. O chão pode parecer balançar sob os pés dos espectadores, testemunhas diretas e oculares do lançamento, mas a Terra como um todo, não sofre a mínima aceleração mensurável, devido à sua grande *inércia de repouso*. No cômputo geral, ela não balança nada¹². Com os seus 10^{24} quilogramas de massa (massa de repouso, repouso em relação a nós próprios!), o que significa que o lançamento do suposto foguete lhe imprime uma aceleração de apenas $5,686 \times 10^{-19} \text{ m/s}^2$.

Afirmar a materialidade da Terra, a partir da sua *inércia de repouso* em relação a nós, e a tudo que sabemos acontecer sobre sua superfície, parece uma atitude epistemológica equivalente a *matar mosquito com tiro de canhão*. Em outros casos, no entanto, existe muita confusão. Que toda-forma de energia conhecida, seja qual for, é também material, porque tem *inércia*, não é coisa evidente para todo mundo. No entanto, é insensato pensar diferentemente. Vamos dar apenas um exemplo: a luz, energia luminosa, é material, porque tem *inércia, inércia de movimento*. Se ela não a tivesse, sua propagação seria instantânea. A velocidade da luz (300.000 quilômetros por segundo) é muito grande mas não é infinita: o Sol, que começa a nascer no horizonte, na realidade já nasceu a aproximadamente 8 minutos atrás; vemos se pondo no horizonte um Sol que já se pôs na realidade a aproximadamente 8 minutos atrás.

¹² Ponha um tijolo de chumbo sobre sua cabeça e peça a um companheiro seu para dar uma martelada brusca sobre ele. Você nada sentirá. Quando lecionava para turmas de Física Geral, fazia esse tipo de demonstração em todas as turmas, com o intuito de ilustrar o princípio de *inércia*. Blocos de chumbo, utilizados para bloqueio de radiações nucleares, eu os pegava em meu laboratório de pesquisa.

8. FÍSICA CLÁSSICA OU NEWTONIANA: ESCALA, MÉTRICA E POSTULADOS

A física é uma ciência *operacional*. Isto significa que *medida* entra na própria definição de cada um dos seus conceitos. Afirmar, por exemplo, que força é igual a massa vezes aceleração, equivale a dizer que, para calcular dinamicamente o valor de uma força, eu necessito de duas medidas: a da massa e a da aceleração. Por sua vez *medida* esconde dois outros conceitos: o de *escala* e o de *métrica*.

Qual a escala da física clássica ou newtoniana? Aquela que inclui sistemas nem muito pequenos (suas dimensões devem ser muito maiores que raios atômicos¹³, carecendo então de sentido levar em conta *efeitos quânticos*) e nem muito velozes (suas velocidades devem ser muito menores que a da luz¹⁴, o que torna sem sentido levar em conta *correções relativísticas*).

Qual a métrica da física clássica ou newtoniana? É a da geometria euclidiana¹⁵, que parte dos conceitos de ponto, reta, superfície e volume, tomados como primitivos e intuitivos, e se mostra adequada ao mundo macroscópico das três dimensões em que nos movimentamos.

Na métrica euclidiana, tomada de empréstimo por Newton, para formalizar a nova física nascida no século XVII, espaço e tempo são categorias absolutas, ou seja "sem referência a nenhum objeto externo qualquer que ele seja". Esses *dois absolutos*, o do espaço e o do tempo, postulados por Newton, permaneceram durante muito tempo inquestionáveis, embora sejam arbitrários sob o ponto de vista físico: trata-se de grandezas não *operacionais*, ou seja, *não mensuráveis*.

¹³ Átomos têm raios da ordem de 10^{10} m. Para se ter um idéia do que isto significa: se ampliarmos o tamanho de uma bola de bilhar, até que ela alcance o tamanho da Terra, cada um dos átomos que a integram seriam do tamanho da bola de bilhar original.

¹⁴ Na prática isto significa: se um objeto se move com uma velocidade menor que 160 quilômetros por segundo, a sua massa é constante, sua dimensão paralela à direção do movimento não se contrai, e o seu tempo próprio não dilata, tudo isto dentro de uma precisão de uma parte em um milhão.

¹⁵ Ou seja, cujos postulados ou axiomas básicos se devem a Euclides (300 a. C.), matemático e geômetra grego.

Na métrica da física clássica ou newtoniana, massa, distância entre dois pontos (= comprimento) e intervalo temporal entre dois eventos (= tempo) são *invariantes*, ou seja, suas medidas não se alteram, ao se mudar de sistema de referência. Quanto medirá uma régua de trinta centímetros, disposta paralelamente à trajetória de uma nave espacial, que viaja a 40.000 quilômetros por hora? Os mesmos trinta centímetros da régua que está sobre a sua mesa em seu escritório. Da mesma forma não haverá alterações em medidas de massas e de intervalos temporais feitas aqui na Terra ou dentro da nave espacial.

9. FÍSICA RELATIVÍSTICA: ESCALA, MÉTRICA E POSTULADOS

A escala da teoria da relatividade restrita (Einstein, 1905) é de caráter cinemático. Efeitos relativísticos são inteiramente desprezíveis, a velocidades inferiores a cerca de 160 quilômetros por segundo, e se tornam cada vez mais importantes, à medida que sistemas físicos se aproximam da velocidade da luz, simbolizada pela letra c ($c = 300.000$ quilômetros por segundo). A letra c foi escolhida para retratar um dos postulados básicos da teoria da relatividade restrita, c de *constante*, indicando que a velocidade da luz é um *invariante universal*, isto é, *não depende do referencial*. Dito em outras palavras, não se compõe nem com a velocidade da *fonte* e nem com a velocidade do *observador*.

Anteriormente à teoria da relatividade restrita, supunha-se que a luz, devido a seu carácter ondulatório, necessitaria de um meio material elástico para se propagar, de forma análoga ao que acontece com as ondas concêntricas que surgem, quando se joga uma pedra em um lago. Este meio material, denominado *éter*, estaria absolutamente em repouso, tendo sido identificado, desde a época de Newton, com o próprio espaço absoluto por ele mesmo postulado. Em termos de física newtoniana: i) observador em nave com velocidade hipotética $v = c/2$, em relação ao *éter*, aproximando-se frontalmente de uma fonte de luz, de velocidade c , em relação ao mesmo *éter*, veria a fonte de luz dele se aproximar com uma velocidade $c' = c + c/2 = 1,5 c$; ii) em caso de afastamento frontal, $c' = c - c/2 = 0,5 c$.

O postulado de *invariância universal* da velocidade da luz rejeita teoricamente a existência do *éter*, e, portanto, do espaço absoluto de

Newton. A chancela experimental precedeu à teoria, sem que disto Einstein aparentemente tivesse tido notícia. O resultado negativo das experiências de Michelson-Morley (1887), intencionalmente montadas para detectarem o éter, e dotadas de precisão mais que suficiente para consegui-lo, após o postulado de Einstein, passou a ser encarado não como uma derrota, mas como uma prova insofismável de inexistência do éter.

Com a rejeição da existência do éter, o espaço está definitivamente relativizado, sacramentando-se a *invariância universal da velocidade da luz*. Cria-se, então, uma nova métrica, a da *relatividade restrita*, na qual a composição de velocidades se dá de tal forma que um observador, movendo-se com velocidade $v/2$, seja se afastando, seja se aproximando de uma fonte de luz, medirá sempre e invariavelmente o valor c para a velocidade da luz no vácuo.

Houve muita relutância em se aceitar a relativização do espaço absoluto de Newton. Era como se tudo estivesse a desmoronar. Se tudo é relativo, todos os valores que nos são caros e importantes desmoronam, inclusive a própria ética. Mas a invariância da velocidade da luz não é também uma espécie de absoluto?

A métrica da física newtoniana é aquela que enquadra, geometricamente, os fenômenos físicos como extensos entre três direções mutuamente perpendiculares. Na física newtoniana, espaço, tempo e matéria são tratados como entidades praticamente independentes. Na relatividade restrita de Einstein, espaço e tempo são combinados em um contínuo a quatro dimensões, traduzido em uma métrica inspirada em princípios elaborados por H. Minkovski (1864-1909). Na generalização da teoria da relatividade (Einstein, 1916) a força da gravidade é encarada em termos da curvatura do contínuo a quatro dimensões da relatividade restrita, o que passa a exigir uma nova métrica, agora inspirada em postulados básicos da geometria de B. Riemann (1826-1866). A indissociabilidade do espaço-tempo se torna indissociabilidade do espaço-tempo-matéria.

Matematicamente o espaço-tempo da relatividade restrita é reversível, o que tanto tem excitado a imaginação humana, tantas vezes sonhadora com o túnel do tempo, com a volta ao passado. No entanto, sob o ponto de vista físico, o tempo é irreversível, flui em um único sentido.

Em resumo, os resultados mais diretos da relatividade einsteiniana impõem: i) a velocidade da luz é um invariante universal e uma barreira intransponível (nem partículas materiais e nem informações podem se propagar com velocidades superiores à da luz); ii) em sistemas físicos muito velozes, ou seja, com velocidades iguais ou superiores a 160 quilômetros por segundo, dependendo da precisão com que se trabalha, não se podem desprezar efeitos relativísticos: as distâncias se contraem e o tempo dilata; iii) massa se transforma em energia e energia em massa, segundo a expressão $\Delta E = \Delta m c^2$ (ΔE = variação de energia; Δm = variação de massa; c^2 = velocidade da luz ao quadrado)¹⁶; iv) o contínuo espaço-tempo é encurvado pela presença de massas, o que acarreta o conceito de indissociabilidade entre espaço-tempo-matéria.

10. FÍSICA QUÂNTICA: ESCALA, MÉTRICA E POSTULADOS.

Efeitos quânticos, teoricamente detectáveis, manifestam-se na escala que vai de 10^{-35} metros (o denominado *comprimento de Planck*) até 10^{-10} metros¹⁷ (ordem de grandeza dos raios atômicos) e abarcam fenômenos que se dão numa escala de tempo superior a 10^{-43} segundos (o chamado *tempo de Planck*). Para valores menores do espaço-tempo, que os impostos pelos *limiares* ou *valores de Planck*, postulam-se as *supercordas*, modelização teórica que permanece, até o presente momento, inacessível a toda e qualquer testabilidade experimental disponível. Sobre tal modelização voltaremos a falar em outra seção do presente capítulo.

¹⁶ A expressão acima é mais conhecida sob a forma $E = m c^2$. Uma de suas aplicações permite-nos entender as reações de *fusão nuclear* que se processam no Sol, imensa fornalha na qual o combustível é *massa que se transforma em energia*. Conjuntos muito grandes de dois *prótons* e dois *nêutrons* fundem-se continuamente para constituírem núcleos do gás *Hélio*. Isto se dá com *perda* ou *defeito* de massa (Δm) e conseqüente radiação de energia (ΔE).

¹⁷ Aqui estamos omitindo o caso de efeitos cooperativos, quando fenômenos quânticos podem se manifestar a nível macroscópico (um dos exemplos é a *supercondutividade*). Para aqueles que aventam a hipótese de o cérebro ter comportamento quântico, em suas manifestações de intencionalidade, nota-se falta de sentido se não se tenta escorar tudo em efeitos cooperativos ou de correlações de longo alcance.

D. Hilbert (1862-1943) foi o primeiro a definir um espaço linear e completo cujas propriedades satisfazem às exigências de uma métrica adequada à teoria quântica da matéria. Em linhas gerais o *espaço de Hilbert* é um *espaço de fases*¹⁸ que permite: i) definir *funções de onda mecânicas complexas* (= com uma parte real e outra imaginária) às quais se associam *amplitudes de probabilidades* ou *vetores de estado*; ii) definir *produtos escalares* ou *internos*, que provocam o *colapso das funções de onda* ou *dos vetores de estado*, transformando *amplitudes de probabilidades*, ou seja, funções complexas, com uma parte real e outra imaginária, em *densidades de probabilidades*, ou seja, em valores reais esperados para medidas de observáveis físicos.

A invenção da teoria quântica tem uma história complicada e não constitui escopo do presente capítulo explorá-la. As propostas decisivas foram feitas de maneiras diferentes por W. Heisenberg (formalismo matricial, 1925) e E. Schrödinger (formalismo ondulatório, 1926). Apoiaram-se eles em trabalhos anteriores de M. Planck, A. Einstein, N. Bohr, Louis de Broglie entre outros. Por outro lado, deve-se ressaltar que um outro grupo importante de físicos e matemáticos prestou contribuições esclarecedoras cruciais, incluindo M. Born, P. Jordan, W. Pauli, P. Dirac e J. von Neumann.

Ressalto os postulados básicos da teoria quântica: i) as trocas de energia entre matéria e radiação não ocorrem de maneira contínua, mas através de quantidades discretas e indivisíveis ou *quanta*¹⁹ de energia; ii) resultados da teoria quântica devem se aproximar assintoticamente de resultados da teoria clássica quando se está no

¹⁸ Para um sistema com n graus de liberdade o espaço de fases tem $2n$ dimensões com coordenadas $(q_1, q_2, \dots, q_n; p_1, p_2, \dots, p_n)$ onde os q s descrevem os graus de liberdade e os p s os momenta ou quantidades de movimento.

¹⁹ Trata-se da chamada *hipótese quântica*, enunciada timidamente por M. Planck, em 1900, e assim mesmo, como ele mesmo confessa, como um *ato de desespero*. Tal hipótese permitiu de imediato entender a lógica do espectro das radiações de *corpo negro* (o que, em experiências do dia a dia, permite justificar as diferentes colorações adquiridas por metais quando aquecidos por maçaricos a diferentes temperaturas). Mostrar que a luz é quantizada, e segue a hipótese de Planck, valeu a Einstein o prêmio Nobel de Física em 1921, e não a teoria da relatividade, considerada, na época, ainda muito polêmica.

limite de números quânticos grandes²⁰; iii) microscopicamente a matéria se comporta tanto como *partícula*, satisfazendo à equação $E = h\nu / 2\pi$ (E = energia; h = constante de Planck; ν = frequência), tanto como *onda*, de acordo com a expressão $p = \hbar k / 2\pi$ (p = vetor quantidade de movimento, lembrando que quantidade de movimento = produto de massa por velocidade; k = vetor de onda, cujo módulo, em uma dimensão = $2\pi / \lambda$)²¹; iv) não se pode conhecer com igual precisão posição e quantidade de movimento de partícula microscópica, tratando-se de limitação física imposta pela natureza, de acordo com a seguinte expressão: $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ (Δx = incerteza na posição; Δp = incerteza na quantidade de movimento)²².

11. TEORIA DAS CORDAS: ESCALA, MÉTRICA E POSTULADOS

No atual estado da arte, sabe-se, com segurança teórica e experimental: (i) a matéria é constituída de átomos que, por sua vez, se compõem de prótons, nêutrons e elétrons; (ii) prótons e nêutrons, por seu turno, resultam de combinações adequadas de quarks.

A teoria das cordas quer, no entanto, ir mais longe, e, sob o ponto de vista puramente matemático, em grande parte o consegue: quarks e elétrons não seriam as partículas últimas da matéria, mas eles próprios se constituiriam de laços mínimos de cordas vibrantes (Figura 1).

A escala que a teoria das cordas abrange é aquela que varre a era de Planck, quando, na cosmologia do Big Bang, as distâncias espaciais teriam sido inferiores a 10^{-35} metros, ou seja, vinte ordens de grandeza menores que o tamanho de um próton, que é de 10^{-15} metros e os intervalos temporais teriam sido menores que 10^{-43} segundos. Os limiares de Planck demarcariam o limiar inferior a partir do qual é necessário usar uma teoria quântica da gravidade.

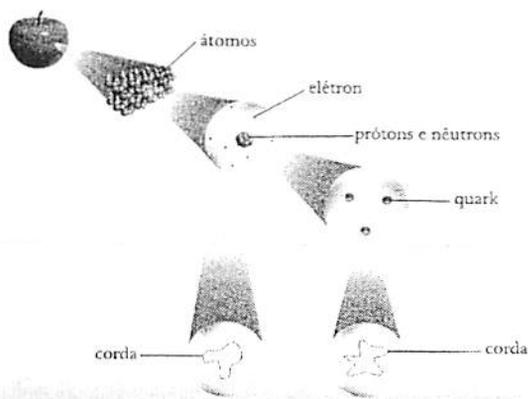
²⁰ Este segundo postulado é conhecido como princípio de correspondência de Bohr. Enunciado claramente apenas em 1923, Bohr, no entanto, nele sempre se inspirou em todos os seus trabalhos anteriores.

²¹ Trata-se do chamado *dualismo onda-partícula*.

²² Trata-se da chamada *relação de incerteza* ou *princípio de indeterminação* de Heisenberg.

A teoria das cordas exige uma métrica de dez dimensões, das quais nove são espaciais e uma é temporal. As propriedades matemáticas do chamado espaço ou forma de Calabi-Yau²³ manifestaram-se adequadas: a cada ponto das três dimensões extensas do espaço euclidiano devem-se acrescentar seis outras dimensões recurvadas sobre si próprias, tão diminutas que se apresentam inacessíveis à experimentação científica nos dias de hoje.

Figura 1- Os constituintes da matéria.²⁴



A matéria se compõe de átomos, que por sua vez são constituídos de quarks e elétrons. Segundo a teoria das cordas, todas essas partículas são, na verdade, laços mínimos de cordas vibrantes (GREENE, 2001)

Se a teoria das cordas um dia vier a ser comprovada, experimentalmente, que trunfo principal estaria sendo sacramentado? O de lançar por terra a incompatibilidade entre física quântica e relatividade generalizada, em escalas inferiores aos limiares de Planck, graças simplesmente à substituição de componentes materiais do tipo partículas puntiformes por cordas vibrantes. Visto por outro ângulo, estaria alicerçada experimentalmente o que se costuma

²³ Proposto anteriormente à teoria das cordas; preliminarmente, em 1957, por Eugênio Calabi, da Universidade da Pensilvânia e, com suas propriedades matemáticas definitivamente demonstradas, em 1977, por Shing-Tung Yau, da Universidade de Havard.

²⁴ Figura extraída de Greene (2001).

denominar *teoria de tudo*. Ter-se-ia atingido finalmente o sonho de unificação das quatro forças da natureza: a gravitacional, a eletromagnética, a forte e a fraca.

12. COMPLEXIDADE, FRACTAIS E CAOS: ESCALA, MÉTRICA E POSTULADOS

Esclareço de saída que, ao propor abordar a complexidade, os fractais e o caos, a adoção de postura *holística* (procurar entender as partes a partir do todo), em vez de *reducionista* (investigar as partes no esforço de entender o todo)²⁵, é obrigatória.

É importante enfatizar o papel de duas disciplinas que modificaram e continuam modificando drasticamente o enfoque dado à complexidade. A primeira delas é a física do estado de não equilíbrio. Nessa disciplina, o que ocorreu de mais inesperado foi a descoberta de novas propriedades fundamentais da matéria, em condições muito longe do equilíbrio. A segunda disciplina é a teoria moderna de sistemas dinâmicos. Nesta a descoberta central é a predominância da instabilidade, ou seja, da forte dependência das condições iniciais. As aplicações de uma e outra são as mais variadas, não apenas em ciências do tipo física, química e biologia, mas ainda em meteorologia e diferentes ramos da engenharia, medicina e ciências econômicas.

O estudo da complexidade, dos fractais e do caos só se tornou prático e eficiente com o advento dos computadores de grande porte, conquanto envolva sistemas de equações diferenciais não lineares, destituídas de soluções exatas, mas admitindo soluções aproximadas, pela utilização de processos numéricos iterativos longos, na maioria dos casos inexequíveis com o recursos do tipo papel e lápis.

No caos, o sistema muda tanto e o tempo todo, a ponto de se poder dizer, quanto mais muda, mais permanece idêntico a si mesmo. Exemplo: no ar do seu escritório, em dia de calmaria, sem vento e sem

²⁵ Em outra oportunidade penso ter demonstrado que se trata de duas posturas complementares, ambas importantes sob o ponto de vista científico (OLIVEIRA, A. L. DE: *Ensaio crítico sobre a primeira e segunda antinomias de Kant*, Síntese – Revista de Filosofia, n. 91, 2001, p. 169-187)

brisa, todas as moléculas que o compõem estão em movimento totalmente caótico e desordenado.

Na complexidade, o sistema, em parte, participa da ordem, apresentando regularidades, em parte se mostra caótico, carecendo de previsibilidade. Por exemplo, seres vivos, quando não portadores de doenças ou a elas resistindo, têm a robustez estatística da auto-organização (funcionamento dos órgãos e do sistema imunológico) embora manifestam concomitantemente vários aspectos de imprevisibilidade comportamental.

Comportamento *caótico* pode acontecer em qualquer escala, seja ela microscópica (considere, por exemplo, o movimento aleatório das moléculas que compõem o ar atmosférico), ou macroscópica (cito, por exemplo, a distribuição ao acaso da frequência e da localização geográfica precisa de abalos sísmicos e de tufões).

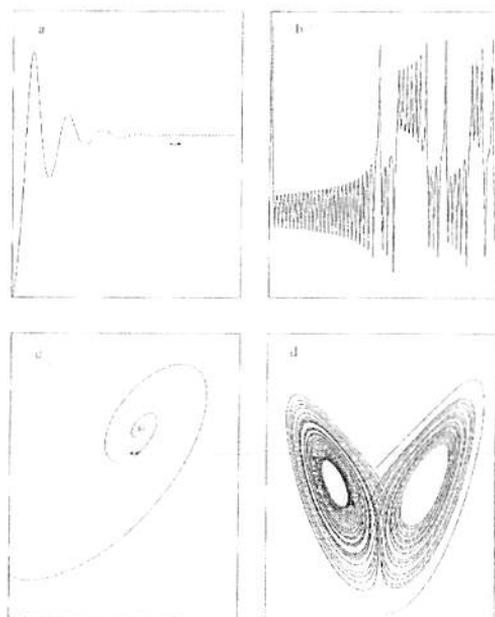
As métricas do espaço de configurações²⁶ e do espaço de fase (figura 2) constituem algumas das geometrias adequadas para o estudo de sistemas caóticos. Convém notar, no entanto, que a propriedade topológica importante para descrever o *caos* é a de *conjunto denso*. Apenas para situar o leitor: o conjunto dos números naturais é *infinito* (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ...); o conjunto dos números fracionários ou racionais é *infinito* e *denso* (0, 1, 1/2, 1/3, 2/3, 1/4, 3/4, 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 1/6, ...); o conjunto dos números reais é *infinito*, *denso* e *contínuo* (isto porque inclui também o conjunto dos números irracionais, ou seja, aqueles números que não podem ser colocados sob a forma p/q , onde p e q são números inteiros (alguns exemplos: π , e , raiz quadrada de dois).

Dentro da lógica de que para ser claro não é necessário abrir mão da precisão, dizemos que, sob o ponto de vista matemático, um sistema dinâmico F é *caótico* se:

1. Os pontos periódicos de F são densos.
2. F é transitivo.
3. F depende sensivelmente das condições iniciais.

²⁶ O espaço n -dimensional com coordenadas (q_1, q_2, \dots, q_n) associado com um sistema que tem n graus de liberdade, onde os valores q descrevem os graus de liberdade do sistema.

Figura 2 - Representações gráficas temporais tradicionais (parte superior da figura) e as representações correspondentes, no espaço de fases (parte inferior da figura).



“Fotografias” no espaço de fase: dois gráficos temporais tradicionais (parte superior da figura) e duas trajetórias correspondentes no espaço de fase (parte inferior da figura) constituem maneiras alternativas de se representarem os mesmos dados, no intuito de se obterem “retratos”, sob ângulos diferentes, do comportamento de um sistema a longo termo. O primeiro sistema (2a e 2c) converge para um estado estacionário – um ponto, no espaço de fase (2c), constituindo o que se chama de um *atrator*. O segundo sistema (2b e 2d) apresenta comportamento caótico, com uma *assinatura* no espaço de fase (2d) que tende para um conjunto *denso* de linhas, como manda o figurino.

Atendendo ao fato de que o público alvo do presente livro não é o de especialistas, nas diferentes áreas exploradas, procuro, no que se segue, propiciar ao leitor a ‘vivência’ de sistemas caóticos, a partir de alguns exemplos, não usando, na medida do possível, expressões matemáticas. Cabe antes, no entanto, uma observação: sabe-se que um sistema que tem um conjunto denso de pontos periódicos e é

transitivo²⁷ apresenta também sensibilidade às condições iniciais, de tal forma que a condição três acima é uma consequência das duas primeiras.

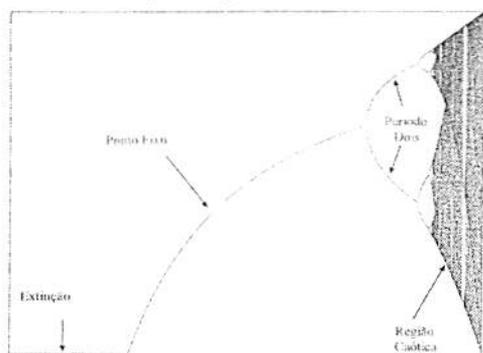
Costuma-se apresentar como paradigma de sensibilidade às condições iniciais, o chamado *Efeito Borboleta*, que não deve ser tomado ao pé da letra, mas encarado como uma espécie de *brincadeira séria*: 'um simples bater de asas de borboleta hoje na Amazônia pode causar amanhã um furacão na Flórida'.

Matematicamente todo sistema caótico é dinâmico, embora nem todo sistema dinâmico seja caótico. Sistema dinâmico é aquele que envolve processo iterativo. Um exemplo simples. Pegue a sua calculadora e quadre o número dois: $x_0 = 2$; $x_1 = 2^2 = 4$. Quadre de novo o resultado da primeira iteração: $x_2 = (x_1)^2 = 4^2 = 16$. Consequentemente, a terceira iteração lhe dará: $x_3 = (x_2)^2 = 16^2 = 256$. E você poderá prosseguir a operação iterativa indefinidamente (na prática, até que sua calculadora 'reclame': minha capacidade de operar com números grandes 'estourou!'). No caso apresentado, $x_0 = 2$ é denominado semente do sistema dinâmico 'quadrar'. Se a semente for outra, por exemplo, $x_0 = 3$, tem-se $x_1 = 3^2 = 9$, $x_2 = (x_1)^2 = 9^2 = 27$, $x_3 = (x_2)^2 = 27^2 = 729$. E assim por diante.

Ocorrendo sensibilidade às condições iniciais, pequenas modificações nelas podem fazer o sistema se tornar caótico. Fala-se então de *rota para o caos*. Um exemplo unidimensional bem simples e muito elucidativo de *rota para o caos*, e que deixa bem clara a dependência das condições iniciais, é o chamado mapeamento logístico. Com efeito, o que pode haver mais simples do que escolher um valor de x entre 0 e 1 e fazer iterações sucessivas, de acordo com a expressão $x_{n+1} = 4r(1-x_n)$, com $0 < r < 1$? A expressão $4r(1-x_n)$ denomina-se *equação logística* e seu mapeamento tem sido utilizado em situações as mais diversas, como, por exemplo, em ecologia, para estudar o comportamento assintótico final (eixo vertical da figura 3) de populações com diferentes graus de fertilidade (eixo horizontal da figura 3).

²⁷ A relação binária 'equivalente a', simbolizada por \sim , aplicada sobre um conjunto S é transitiva se, para todo a, b e c em S , sempre $a \sim b, b \sim c$, então $a \sim c$.

Figura 3 - Gráfico da função logística ilustrando *rota para o caos*.



Pela simples inspeção da figura 3 percebe-se: quando o parâmetro de fertilidade é baixo (*esquerda*), a população acaba se extinguindo (valor zero no eixo vertical); à medida que ele aumenta, o valor de equilíbrio da população também aumenta (*centro* - comportamento estacionário: lugar geométrico dos *pontos fixos*, no espaço de fase); o prosseguimento do aumento do parâmetro de fertilidade provoca desdobramentos (*bifurcação, bifurcações*) sucessivos, ocasionando a oscilação entre dois, quatro, oito, ... valores de equilíbrio, o que acaba desembocando no caos (região escura à direita, caracterizada por uma *distribuição densa* de pontos).

Um outro assunto relacionado a sistemas complexos é a chamada *geometria fractal*. Trata-se de uma ferramenta matemática para lidar com sistemas complexos que não têm escala de comprimento característica: a cada novo "zoom" de amplificação de escala manifestam-se qualitativamente estruturas globais semelhantes (é a chamada propriedade de auto-similaridade). Um exemplo corriqueiro de *fractal* na natureza é a forma de um litoral, desprovido de áreas construídas para servirem de referência. Na ausência de uma legenda não se consegue dizer em que escala foi feito o levantamento aéreo-fotométrico.

Sistemas com invariância de escala (= *fractais*) são normalmente caracterizados por dimensões fracionárias (guarda-se memória da etimologia inglesa: "*fract... ionary*"). Na figura 4, temos o resultado das quatro primeiras iterações que geram uma curva de Koch, cuja dimensão é 1,261 (intermediária entre a dimensão de um segmento de reta e a de uma superfície). Por outro lado, a dimensão da esponja de Sierpinski (figura 5) é 2,723 — intermediária entre a dimensão de uma superfície e a de um volume.

Figura 4 : quatro iterações da curva de Koch.

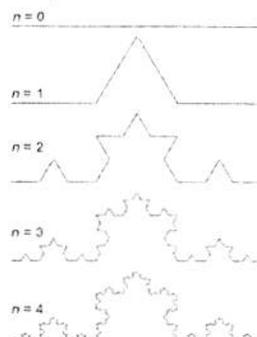
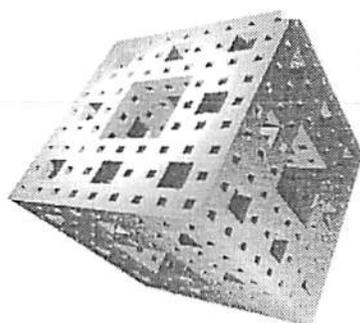
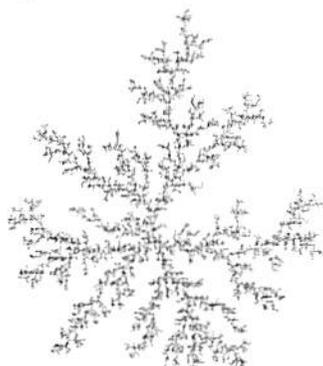


Figura 5: a esponja de Sierpinski (terceira iteração)



Um exemplo de estrutura fractal mais sofisticada, e que já se tornou clássica, é os Conjuntos de Júlia (Figura 6).

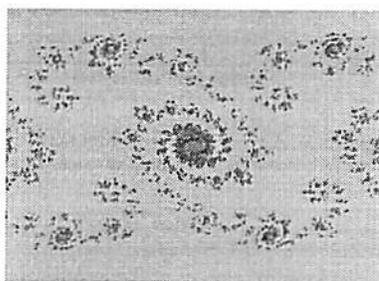
Figura 6 - Representação gráfica de um *Conjunto de Júlia*.



Conjuntos de Júlia são *prisões de pixéis* (veja nota 18!) que ocorrem quando c é mantido fixo e variamos z iterativamente, n vezes ou “*ad nauseum*”, de acordo com a expressão $z_{k+1} = (z_k)^2 + c$. As partes pretas dos conjuntos de Júlia são pontos que não podem escapar.

Até o presente momento, apresentei exemplos restritos aos chamados *fractais determinísticos*²⁸. Ao lado destes existem também os *estocásticos* ou *erráticos*²⁹. O modelo talvez mais simples de processo de construção fractal, por difusão de partículas ao acaso, é o denominado *diffusion limited aggregation* (DLA). Na versão tipo rede do modelo, uma partícula semente encontra-se fixada na origem de uma dada rede e uma segunda partícula é solta a partir de um círculo centrado na primeira. Esta partícula executa um passeio ao acaso na rede. Quando ela passa por um ponto na vizinhança imediata da semente, ela se cola nela, formando-se assim um agregado constituído de duas partículas. Em seguida uma terceira partícula é solta de forma análoga, e, repetindo a mesma estória errática, acaba se colando ao agregado, do qual passa a fazer parte. O processo é iterado repetidamente, até que seja gerado um padrão com o tamanho e a complexidade desejados (Figura 7).

Figura 7 – Aglomerado DLA de rede crescente para fora típica, constituído de 10.000 partículas.



²⁸ Fractais determinísticos estão na mesma trilha do *caos determinístico*: sistemas físicos que, embora essencialmente determinísticos, apresentam tanta sensibilidade às condições iniciais, que qualquer esperança de prever seu comportamento futuro, embora constitua uma possibilidade teórica, permanece como um sonho nunca realizável.

²⁹ Processos *estocásticos* são aqueles que incluem variáveis cujos valores varrem as diferentes possibilidades inteiramente ao acaso.

Os objetos fractais, em contraste com os objetos compactos, são dotados de grandes áreas *superficiais*. Entende-se, portanto, porque em medicina e em biologia, domínios em que fenômenos de superfície são de importância crucial, a presença de fractais seja quase ubíqua. Para citar apenas alguns exemplos: geometria da árvore respiratória nos pulmões; sistema arterial que libera oxigênio e nutrientes para todos as células do corpo; admirável estrutura da couve-flor, onde cada fragmento da cabeça central é "quase" cópia reduzida exata da cabeça total; possibilidade de quantificação da forma do neurônio a partir de conceitos fractais; modelo do tipo DLA ("*diffusional limited aggregate*"), a governar a formação dos chamados dedos viscosos, constituindo a chave para solução do paradoxo: *por que o estômago não digere a si próprio?*; outro exemplo de crescimento do tipo DLA é a proliferação de colônias de bactérias em placas de gel com nutrientes; outros contextos biológicos, onde a dimensionalidade fractal parece ser relevante, são a relação entre tamanho do cérebro e peso do corpo, entre diâmetro e comprimento ósseos, entre força e massa musculares, entre tamanho do organismo e a sua taxa de produção de energia e de consumo alimentar.

13. AUTO-ORGANIZAÇÃO, CRITICALIDADE E LEIS DE POTÊNCIA

Qual a probabilidade de ocorrência de: i) avalanches, em montanhas de grãos de arroz empilhados, vagarosamente e um a um? ii) terremotos, em regiões sujeitas a abalos sísmicos frequentes? iii) episódios de extinção de espécies, na sucessão de períodos geológicos? iv) erupções vulcânicas, em regiões a elas sujeitas?

Em tudo que mencionei acima, as *probabilidades de ocorrência* retratam *equilíbrio instável* intrínseco entre *ordem - desordem*, instabilidade essa característica de *sistemas complexos*. As previsibilidades em *sistemas complexos* implicam em *leis de potência*, cuja natureza é *estatística*, e, portanto, estabelecidas em um enquadramento epistemológico totalmente diferente daquele característico das leis de potência do *tipo relógio suíço*. A lei da gravitação universal de *Newton* é um exemplo típico de lei de potência *à moda suíça*: "Matéria atrai matéria na razão direta de suas massas e na *razão inversa do quadrado da distância que as separa*". Na *razão inversa ...* Vale o mesmo que dizer: ... e na razão da distância, que as separa, elevada à *potência menos dois*.

Avalanches, terremotos, extinções de espécies biológicas, erupções vulcânicas, seguem alguma lei? Tudo leva a crer que existem *famílias de universalidades*, ligadas a valores do expoente n , em *leis de potência*, de natureza estatística, regendo tudo isso, também conhecidas como leis $1/f^n$, sendo: f a frequência ou probabilidade de ocorrência do evento; n um expoente inteiro ou fracionário³⁰. Traduzindo em uma outra linguagem bem genérica: quanto maiores as avalanches e os terremotos, menores as suas probabilidades de ocorrência. O mesmo vale para as erupções vulcânicas. E o ponto talvez mais interessante: encarando-se os episódios de extinção de espécies como avalanches, extinções em larga escala são muito mais raras.

E o que diz respeito à dupla escala de tempo, regendo a *complexidade*? A formação de pilhas de arroz, lentamente, grão a grão, constitui um bom modelo teórico, embora as simulações em computador (experimentações *in silico*), neste caso, não sejam feitas a três dimensões, e, na prática (experimentações *in situ*), pilhas de grãos reais em formação não apresentem necessariamente *criticalidades auto-organizadas*. Tudo depende, entre outras coisas, da forma dos grãos e de quão rapidamente a energia deles é dissipada durante o empilhamento. Ocorrendo, no entanto, a *criticalidade auto-organizada*, existe, na *complexidade* do seu dinamismo, uma dupla escala de tempo: uma *imensa* (tempo até que se forme um monte cônico, com inclinação de rampa em ângulo crítico, ou seja, dotado de *robustez auto regenerável*, embora a pilha continue sujeita a avalanches) e outra *ínfima* (tempo de duração de cada avalanche).

É fácil de se ver que a dupla escala de tempo está também presente em avalanches em montanhas cobertas de neve, em terremotos, em erupções vulcânicas, em extinções de espécies biológicas. Por outro lado, a complexidade nos toca, a nós humanos, de maneira desconcertante. Como *seres complexos adaptativos*, temos a *robustez*

³⁰ No caso de expoente fracionário, tem-se o que se denomina *dimensionalidade fractal*, como já foi visto anteriormente, no presente capítulo.

estatística de criticalidades auto-organizadas. Cabe aqui a metáfora da *pilha de arroz*. Ela resiste a despencar espontaneamente, embora esteja sujeita a avalanches: doenças, cansaços, prostrações. Ocorre, no entanto, uma sina inexorável: toda *complexidade orgânica*, a partir de um determinado grau de organização, está programada para a morte. Grãos de arroz também envelhecem e dão carunchos! Um dia a *pilha de arroz* despencará, mesmo que não haja cataclismos externos, sacudindo a plataforma de sustentação.

Um dos aspectos mais excitantes do estudo de fractais, caos, sistemas complexos, é que a universalidade dos padrões gerados é independente de seus detalhes. Circuitos elétricos simples e modelos matemáticos nada sofisticados podem ser aplicados diretamente para se compreender o que há de caótico no comportamento da meteorologia, da ecologia, do cérebro, do sistema imunológico, das oscilações de preços.

Quem sabe, depois de tantos mergulhos bem sucedidos no '*infinitamente pequeno*' das partículas elementares, e das mais variadas incursões, coroadas de êxito, no '*infinitamente grande*' do nosso universo em expansão, não estaríamos nos preparando adequadamente para entender o '*infinitamente complexo*', a mente e o cérebro humanos?

Não é o meu intuito empreender, alongando-me ainda mais no presente capítulo, a fascinante aventura de procurar entender a mente e o cérebro humanos, e nem para isto me sinto qualificado. Remeto o leitor interessado à ampla literatura existente a respeito. Ler os livros de *Roger Penrose* e de *Gerald Edelman*, situados em vertentes praticamente opostas e citados na bibliografia logo abaixo, bem como não omitir a leitura do capítulo de *Pereira Jr. et alii* (Pereira, 2002) que figura no presente livro, pode constituir um bom começo.

AGRADECIMENTOS

Registro o meu obrigado a meu amigo e colega Paulo Roberto Silva, do Departamento de Física, do ICEx-UFMG, pela paciência demonstrada na leitura minuciosa do manuscrito e pelas críticas e sugestões.

Não posso deixar de expressar também minha gratidão a um outro amigo, professor e pesquisador do mesmo Departamento, Jefferson Leal, pela presteza com que me atendeu, encarregando um de seus alunos de Doutorado, Edson Denis Leonel, de gerar as figuras referentes a fractais e caos, utilizadas no presente capítulo.

Edson, nosso contato foi apenas telefônico. Mesmo assim, fico-lhe muito agradecido. Sua colaboração foi muito eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNDE, A. and HAVLIN, S. A. brief introduction to fractal theory. In: Bunde, A. and Havlin, S. (Eds), *Fractals in science*. New York, Springer-Verlag, 1994.
- DEVANEY, R. L. *A first course in dynamical systems*. New York: Addison-Wesley, 1996.
- EDELMAN, G. *Bright air, brilliant fire*. New York: Harper Collins Publishers, 1992.
- GELL-MAN, M. *O quark e o jaguar*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.
- GLEIK, J. *Chaos*. New York: Penguin Books, 1988.
- GREENE, B. *O universo elegante*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.
- GUTH, A., STEINHARDT, P. The new astrophysics. In: DAVIES, P. (Ed.), *The new physics*. London: Cambridge University Press, 1993.
- HAWKING, S. *O universo numa casca de noz*. São Paulo: Mandarin, 2001.
- KAYE, B. *Chaos and complexity*. New York: VHC Publishers, 1993.

LONGAIR, M. The new astrophysics. In: DAVIES, P. (Ed.). *The new physics*. London: Cambridge University Press, 1993.

NICOLIS, A. Physics of far-from-equilibrium systems and self-organisation. In: Davies, P. (Ed.) *The new physics*. London: Cambridge University Press, 1993.

NICOLIS, G., PRIGOGINE, I. *Exploring complexity*. New York: W. H. Freeman and Company, 1999.

NUSSENZVEIG, H. M. Introdução à complexidade. In: NUSSENZVEIG, H. M. (Org.). *Complexidade e caos*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1999.

OLIVEIRA, A. L. DE. Ensaio crítico sobre a primeira e segunda antinomias de Kant, *Síntese – Revista de Filosofia*, n. 91, 2001, p. 169-187.

PENROSE, R. *The emperor's new mind*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

PRIGOGINE, I. *The end of certainty*. New York: The Free Press, 1997.

WEINBERG, S. *Sonhos de uma teoria final*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

WILL, C. The renaissance of general relativity. In: DAVIES, P. (Ed.), *The new physics*. London: Cambridge University Press, 1993.

VIDA

Romeu Cardoso Guimarães
UFMG

INTRODUÇÃO

A palavra vida é um termo sintético, referente ao conjunto das propriedades dos seres vivos. Seres vivos são células ou conjuntos de células. A discussão pode, assim, ser simplificada, considerando somente a célula, a unidade mínima e fundamental. Células são sistemas (bio)químicos complexos, contendo grande número de elementos que interagem entre si e com o ambiente, apresentando dinâmica muito diversificada. O estudo da célula exige algum detalhe bioquímico, o que pode parecer difícil à maioria dos 'leigos' nessa especialidade, mas, para as finalidades presentes, somente alguns elementos básicos da bioquímica serão necessários.

A abordagem de sistemas complexos, como os celulares, causa grande perplexidade, principalmente porque são dinâmicos, cambiantes,

evolutivos. Diz-se que tais sistemas são praticamente indescritíveis em sua totalidade ou, equivalentemente, em sua singularidade. Pode-se tentar descrevê-los a partir de todos os pontos de vista possíveis, mas nem a composição de todos será completa. Assim, outro ingrediente essencial para o estudo da célula é a teoria evolutiva. Esta nos conduz da química à bioquímica e desta à biologia celular.

Início definindo o objeto de estudo, os seres vivos. Segue-se o exame de suas propriedades ou atividades que, em conjunto, compõem o termo vida. Essa definição é de tipo descritivo, mais estática. Acrescenta-se outra, mais dinâmica, designando vida como o processo desempenhado pelos seres vivos. A base fundamental do processo, endógena e intrínseca, é o metabolismo. Na segunda parte, acrescentam-se as propriedades de relação dos componentes próprios da célula com os ambientes, interno e de entorno, mais o crescimento e a reprodução. Apresento, ao fim desta, uma proposta de como se estrutura uma unidade modular viva.

A caracterização dos vírus será tratada em outro texto. Adianto que, embora façam parte do objeto de estudo da biologia, não são considerados vivos. São entidades moleculares não metabólicas, derivadas de células, que participam da comunicação entre elas, importantes na configuração de redes populacionais interativas.

Ao longo da exposição, procuro colocar, nos contextos celular e molecular, alguns conceitos [em colchetes] que são próprios de outras áreas, incorrendo em analogias que poderão parecer exageradas. Sei dos riscos envolvidos em tais procedimentos, mas os considero úteis exatamente no sentido de ampliar o debate, às vezes aproximando, outras vezes marcando as distâncias, ou sugerindo provocações bem intencionadas. Em alguns momentos, refiro-me até a citações provenientes de textos bíblicos, destacando a convergência de intuições ali contidas (que os religiosos chamam de revelações) com resultados que a ciência obteve. Tais citações têm somente a finalidade de levar a discussões sobre potenciais, limitações e tendenciosidades da mente humana, sem qualquer desrespeito às convicções dos religiosos.

PARTE I: O ENDÓGENO: VIVER É METABOLIZAR

1. DEFINIÇÃO

Definições devem ser tecnicamente precisas e devem conduzir a pesquisas, em sua área específica do conhecimento, mas cada área deve procurar contribuir amplamente para o conhecimento mais geral, tornando-se parte do acervo e da formação culturais. Por isso, as definições de uma certa área deveriam ser acessíveis aos estudiosos de outras áreas e tentar compatibilização com o senso comum, no intuito de obter comunicação facilitada.

Durante o questionamento à procura do esclarecimento de conceitos referentes ao processo biológico, onde se insere nossa espécie, e à averiguação de 'o que estamos fazendo neste mundo', escolhi uma abordagem, considerando a origem dos sistemas biológicos. A perspectiva delineada era a de que entender o que é vida equivaleria a delinear um processo de montagem do sistema celular e seguir seu desenvolvimento e evolução.

Indico uma definição sucinta que pretendo desenvolver, a fim de que o interlocutor possa participar mais facilmente do desenrolar do raciocínio, sem ter que perceber 'nas entrelinhas' para onde está sendo conduzido, e poder exercitar sua crítica no percurso: *vida é o processo desempenhado por sistemas metabólicos individualizados.*

2. ENTIDADES CONCRETAS E ABSTRATAS

Nossa linguagem está repleta de palavras que exprimem conceitos abstratos e complexos, de definição difícil, como amor, gosto, simpatia etc. Vida é uma destas. Tal dificuldade não é exclusiva do objeto vivo em exame (ver Mari, 2002, neste livro). É comparável à com que nos deparamos em relação a muitas das propriedades ou atividades da matéria. Também a física não encontra diretamente as forças, energias e campos. São observáveis através dos efeitos, definidas como interações entre objetos materiais, causando seus movimentos e transformações. Tais definições derivam de observações diretas sobre a matéria, expressas através de equações bastante simples e precisas, mas as forças permanecem intangíveis.

Há vários livros que propõem diversas definições de vida, freqüentemente, coleções de artigos de diversos autores, cada um abordando o tema a partir de um ou mais pontos de vista, em geral, limitados, restritos à área de pesquisa em que se situam, ou às vezes tendenciosos. Ao longo do presente texto, algumas definições parciais serão introduzidas, até que se possa alcançar uma sintética. No entanto, estou ciente de que mesmo esta apresentará alguma tendenciosidade, que deixarei explícita.

Por outro lado, há outros conceitos de mais fácil apreensão, nomeando objetos chamados de concretos, sobre os quais restarão poucas dúvidas após alguma explicação breve. Os seres vivos podem ser colocados nesta categoria. Quaisquer de nós estaremos de acordo quando dissermos que fungos, plantas e animais são seres vivos. São entidades macroscópicas que desempenham certas atividades e movimentos.

Inventamos a palavra *vida* como termo sintético, para designar esse conjunto de atividades ou propriedades dos seres vivos. No entanto, o conceito permanece vago. A intuição mais simples seria a de que tais objetos possuiriam, em seu interior, alguma força ou 'princípio vital', uma entidade imaterial ou espiritual que lhes conferiria as propriedades e a capacidade de desempenhar suas atividades. Não se pode cair na tentação de reificação (coisa = *res*, do latim) do termo, transformando as propriedades em coisas. Os cientistas, muito curiosos, puseram-se a tentar caracterizar tal 'força vital' mas não conseguiram encontrá-la. As forças conhecidas, até o momento, são somente as da física (ver Oliveira (2002) neste livro).

3. SERES VIVOS

É preciso estudar com detalhe a constituição de todos seres vivos, incluindo os que não são acessíveis diretamente a nossos sentidos primários. Os facilmente acessíveis são somente os grandes. A percepção de maiores detalhes exigiu o auxílio de instrumentos, que expandiram o alcance de nossas observações para o mundo microscópico. Com os microscópios óticos, baseados na luz visível e, geralmente, com coloração por pigmentos, conseguimos descobrir que todos seres vivos macroscópicos são organismos multicelulares, conjuntos de células, e que há muitos seres vivos unicelulares. Na

maior parte do texto, estaremos dedicados ao estudo destes unicelulares e, em especial, os mais simples, as bactérias.

No percurso em direção ao micro-mundo, o acesso à observação direta vai se tornando cada vez mais restrito aos especialistas e serão necessários, para os 'leigos', exercícios de abstração. Solicita-se destes a confiança nos 'iniciados', biólogos e químicos, aceitando que esses estejam capacitados no desempenho de tais funções, não se deixando conduzir por pesquisas e interpretações enganosas.

Treinamento teórico e mais abstrato é necessário nos exames químicos, porque as moléculas não são facilmente visíveis, sendo detectadas através de reações e transformações em que se envolvem, essas sendo medidas pelo aparecimento de cores ou outras propriedades, às vezes somente detectáveis por aparelhagem sofisticada. Somos, atualmente, capazes de visualizar, por métodos ainda mais refinados, como a refratometria de raios x (o principal instrumento da denominada biologia estrutural), até moléculas de água que residem dentro de moléculas orgânicas maiores, como proteínas e ácidos nucléicos, e inferir o processo como estas interagem e promovem reações e transformações, que chamamos de metabolismo.

Um procedimento útil em toda investigação é de fazer perguntas claras e simples, sobre questões também claras e bem demarcadas. No caso presente, simplificamos a questão, reduzindo-a ao objeto mais simples que pode ser chamado de ser vivo. Assim, podemos excluir da pergunta sobre vida, temporariamente, tudo o que não está contido nas células menores, como as bactérias. O que foi excluído (p. ex., caracteres específicos de neurônios, pele, linfócitos etc.) fica colocado em níveis mais complexos de seres vivos, não sendo considerado característica essencial, necessária, do processo vital. Tais caracteres devem ser estudados à parte, como elaborações acrescidas à essência da vida, ao longo do processo da complexificação evolutiva.

Até agora, estamos em condição de definir:

SERES VIVOS são células;

VIDA é um conjunto de propriedades das células.

1. EVOLUÇÕES

Todo o universo que observamos está em transformação contínua, ainda que alguns objetos, como os vivos, apresentem características muito distintas, que parecem 'saltos' ou descontinuidades em relação a outros. Alguns objetos são mais estáticos, como cristais e pedras, mas observação atenta pode detectar crescimento de cristais ou sua deterioração. Outros apresentam movimentos aparentemente repetitivos, como o sucessivo aparecimento e desaparecimento do Sol, da Lua e das estrelas, mas os astrônomos conseguem nos detalhar suas variações. Os fluidos e os seres vivos se movimentam mais intensa e variadamente, em escalas de tempo e de mudanças mais acessíveis ao nosso observar mesoscópico. É mesoscópico em relação ao universo cósmico (macro) e ao atômico (micro), mas, em geral, é chamado também (como feito acima) de macroscópico, em relação aos objetos menores, inacessíveis aos nossos sentidos diretos, não auxiliados por instrumentação refinada como os microscópios e a da química.

As transformações que observamos, através de algumas 'janelas' limitadas, como nosso campo de visão ou tempo de vida, são a evolução, em sentido amplo, do espetáculo que a natureza nos oferece. A ciência também tem seu viés e janelas, tentando se mostrar 'objetiva', procurando montar uma história do universo o mais isenta possível das tendências individuais de cada cientista. É claro que ela acaba por cair na tendenciosidade das comunidades dos cientistas através dos tempos, mas tal consequência é inevitável. Assim, o corpo de conhecimentos científicos, como qualquer outro tipo de conhecimento, também é evolutivo. 'Ambos coisas e nosso conhecimento sobre as coisas evoluem' (David P. Bloch).

Para os sistemas reprodutivos, como os da biologia, o processo de evolução é chamado darwiniano. Incorporando o conhecimento da genética, ao longo do século XX, passou a ser chamado de neodarwiniano. Sua base é a reprodução diferencial em populações, que são coleções de indivíduos distintos, contendo variações. As mais notórias, mais facilmente detectáveis através das gerações, são as variações genéticas, as mutações. Nos organismos sexuais, com dois genitores contribuindo igualmente para os filhos, a distribuição das variações genéticas segue uma 'diluição' sucessiva de metade a cada geração. As variações não genéticas não apresentam tal regularidade, sendo mais difíceis de acompanhar. Na dinâmica das variantes

genéticas através das populações sucessivas, algumas tornam-se mais outras menos freqüentes, e diz-se que umas foram mais bem sucedidas que outras, em relação aos ambientes a que se submeteram. Interpreta-se que o ambiente selecionou, dentre as variantes, as melhores naquele contexto, as que deixaram mais descendentes.

Esse processo, chamado de evolução natural por seleção, já está bem sedimentado e aceito, em linhas gerais. É a base dos estudos filogenéticos, de como algumas espécies são mais aparentadas entre si, formando linhagens ('filos'), e menos a outras. Uma importante conclusão, extraída desses estudos, é de que todos seres vivos conhecidos são derivados de uma única população original, como ramos de uma árvore. Todos são constituídos do mesmo estofa, basicamente genes (ácidos nucléicos) e proteínas, com o mesmo tipo de genética.

Há, no entanto, muita discussão de detalhes, alguns importantes. Em substancial proporção dos casos, não é possível identificar, com clareza, quais foram os agentes seletivos ambientais. Quando esses podem ser identificados, a maioria tem atuação predominantemente negativa, contra algumas variantes, de modo que os beneficiados são todo o restante das variações, portanto, sem direcionamento específico.

Quando não há um agente seletivo externo identificável, o impulso evolutivo tem que ser endógeno aos organismos em reprodução. A explicação por seleção natural é sempre *a posteriori* da história ocorrida, de modo que se inferem mecanismos, às vezes com poucas evidências, ao se tentar reconstruir o percurso. E assim por diante, vê-se que o estudo evolutivo é ainda muito rico. Como em todo ramo do conhecimento, o aprendizado se refere ao passado, que deve ser tomado como base para nossas teorias e ações, essas referindo-se ao futuro, mas com potencial preditivo pobre, potencial e condicional. O futuro é aberto, um certo universo de possibilidades com graus variados de probabilidades. A única direção evolutiva aceita consensualmente é no sentido da ampliação da complexidade. Esta deriva, em última instância, do resfriamento do universo, que permite a formação de algumas estruturas estáveis. As interações entre essas vão se tornando, ao longo do tempo, cada vez mais variadas e numerosas. Alguns sistemas mais complexos são aqueles que

incorporaram a capacidade de se manterem estáveis frente a maior variedade de interações.

A evolução de um indivíduo é chamada ontogênese. No contexto da genética, diz-se que cada indivíduo multicelular é um clone, todas suas células sendo derivadas de uma única, o ovo (zigoto). Do mesmo modo, os gêmeos chamados de 'idênticos' (monozigóticos, univitelinos) são clones um do outro ou partes de um mesmo clone. As células derivadas de uma única tornam-se distintas, principalmente, por expressão diferencial de suas funções, mantendo e utilizando os mesmos genes, em contextos ambientais e de evolução ontogenética distintos. Vê-se que é enorme o potencial desses processos de plasticidade orgânica. Tal variabilidade pode ser chamada de deriva (indicando falta de direção) fenotípica, com componentes influenciadores endógenos e exógenos.

5. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CELULAR

Apresento, a seguir, uma descrição das principais estruturas e funções próprias da organização celular. Destaca-se que o sistema metabólico é (1) organizado como uma rede de moléculas interativas e (2) as moléculas principais são polímeros, como fios ou fitas, que precisam ser mantidos íntegros ou repostos continuamente. A estabilidade do sistema decorre da existência de 'estruturas de memória' que são, para as redes, ciclos funcionais de realimentação e, para a reposição dos polímeros, os genes. O sistema é individualizado, mas semi-aberto (ou semi-fechado), com fronteiras semi-permeáveis a intercâmbios com o ambiente.

6. ESTRUTURAS E FUNÇÕES

Abaixo dos níveis de observação descritos acima, mais estáticos e 'fotográficos', está a química. Ao se observar os objetos por esta metodologia, uma grande divisão se torna imediatamente evidente entre os inorgânicos e os orgânicos. Os primeiros estão em toda parte, mas os orgânicos são diferentes e ocorrem somente onde há seres vivos. Mais tarde, descobriu-se que também era possível encontrar matéria orgânica longe dos seres vivos. Hoje, a química pode ser dividida em inorgânica, orgânica e biológica (bioquímica). A última é

mais complexa, mas uma conclusão fundamental se impõe, de que nada há de qualitativamente novo entre os componentes elementares das células, além dos conhecidos nas químicas inorgânica e orgânica.

As novidades da biologia, quanto aos elementos constituintes, eram quantitativas. Enquanto dentre os mais abundantes elementos na Terra estão silício e ferro, nos seres vivos está o carbono (C). A maior parte dos outros componentes fundamentais dos seres vivos não se distingue tão amplamente dos inorgânicos, quanto à abundância na Terra: são o hidrogênio (H) e o oxigênio (O), que compõem a água, e o nitrogênio (N), abundante na atmosfera, resumidos na sigla CHON. Seguem-se fosfatos (P) e enxofre (S), gerando a sigla CHONPS, depois muitos outros em escala decrescente de ocorrência, como cálcio, ferro etc., até muitos mais escassos, chamados de microelementos.

A fixação de energia em compostos celulares envolve, atualmente, vários tipos de moléculas orgânicas, mas tem sido remetida a origens inorgânicas, sendo primordialmente o ferro, em suas formas reduzida e oxidada, depois sulfetos, gerando os tioésteres e, finalmente o pirofosfato, parte importante dos nucleotídeos, dentre os quais se destaca o ATP (adenina-ribose-trifosfato; ver Figuras 2 e 5).

O programa de pesquisa atual adota, sem necessidade de maiores justificativas, a hipótese de origem da vida por *geração espontânea*. Corrige-se a extrapolação derivada dos experimentos de Pasteur, dizendo que toda célula provém de outra (isso permanece correto, no interior da biologia), mas a extrapolação de que não haveria possibilidade de geração espontânea não é mais aceita. O ensinamento proveniente desse engano é de interesse geral: os dados obtidos em experimentos têm validade restrita àquelas condições específicas. Extrapolar oferece pouca segurança como base para proposição de hipóteses. Uma base mais segura do método científico é proceder interpolações. Essas terão validade em graus diversos, dependentes da distância ou diferença entre os eventos ou evidências considerados corretos, que definem a amplitude da interpolação realizada.

7. SISTEMAS FUNCIONAIS

As novidades qualitativas na célula referem-se ao modo de organização dos constituintes. O ambiente interno é fluido, aquoso,

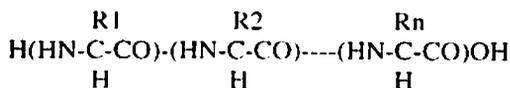
com concentração de sais semelhante aos ambientes estuarinos, dos pântanos salobros ou das desembocaduras de rios no mar; nem tão pequena como na água doce, nem tão grande como no mar, mas com mais potássio do que sódio, esta proporção sendo inversa no mar.

A massa sólida da célula tem dois tipos principais de componentes próprios e 'nobres', os ácidos nucléicos e as proteínas. São fios ou fitas de polímeros como os plásticos (estes são, p. ex., polivinil, polietileno), mas com subunidades (monômeros) particulares. Em vez de vinil ou etileno, nos plásticos, são aminoácidos nas proteínas (poliaminoácidos, mas chamados de polipeptídeos para designar o modo específico de ligação, peptídica, entre os aminoácidos) e nucleotídeos nos ácidos nucléicos (polinucleotídeos, também com modos específicos de ligações). Os polímeros são cadeias longas como correntes, com elos (monômeros) unidos em seqüência linear, às vezes com ramificações. Podem ser simples e repetitivos como os plásticos e os amidos (poliaçúcares) do milho (maizena) e da mandioca (polvilho), mas os das proteínas e dos ácidos nucléicos são mais complexos.

Proteínas são polimerizadas por união das partes constantes (repetitivas) de todos aminoácidos. Estes são de 20 tipos, diferentes quanto às cadeias laterais (R), e cada proteína tem seqüência particular deles (Figura 1).

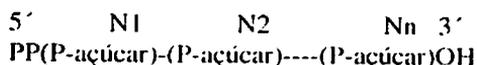
Ácidos nucléicos são polimerizados por união das partes constantes de todos nucleotídeos. Esses são de 4 tipos, diferentes quanto às bases nitrogenadas (bases, N). O DNA é uma cadeia muito longa, cada uma correspondendo a um cromossomo, e os RNA são segmentos menores (copiados de segmentos do DNA), em geral, cada um a ser traduzido em uma proteína (Figura 2).

Figura 1- Estrutura geral de proteínas.



O polímero é uma cadeia de aminoácidos. A parte repetitiva destes é unida por ligações peptídicas -HN-CH-CO- . Ao se fazer a ligação, libera-se uma molécula de água, composta de um H do NH_2 (este permanece na extremidade inicial) e do OH do COOH (este permanece na extremidade final). A parte específica de cada aminoácido é a cadeia lateral R, cuja ordenação seqüencial confere especificidade à proteína.

Figura 2. Estrutura geral de ácidos nucléicos



Cada fita do polímero é uma cadeia de nucleotídeos. A parte repetitiva destes contém fosfatos unidos a posições regulares dos açúcares ($5'$ e $3'$, ver Figura 5). Na união, também se produz água, com partes do fosfato e do açúcar. A parte específica de cada nucleotídeo é a base nitrogenada N, cuja ordenação seqüencial confere especificidade ao ácido nucléico.

As diferenças entre DNA e RNA são pequenas e esses ácidos nucléicos podem ser considerados sinônimos. São intercambiáveis como genes, mas a maioria dos genes é de DNA. O termo gene pode ser entendido como a matriz ou modelo 'gerador' de proteínas, através do processo de tradução. Esse é complexo, mas sempre a partir de RNA, que passa a ser chamado de RNA mensageiro (mRNA). É necessário saber somente que as seqüências dos mRNA são 'lidas' em tripletos ou trincas de bases (cada tripleto chamado de códon), das quais se tem 64 (4^3 ; 4 bases em trincas) tipos diferentes, e um ou um conjunto de trincas corresponde a um aminoácido. O conjunto das regras de correspondência entre códons e aminoácidos é chamado de Código Genético.

8. MEMÓRIA EM FITAS

A 'nobreza' conferida às proteínas e aos genes decorre de residirem neles as propriedades fundamentais de especificidade, estabilidade e funcionalidade das células e das espécies. Cada espécie, uni ou multicelular, tem um conjunto próprio de genes, seu genoma (ou genótipo), que as distingue de outras, ao longo da diversidade evolutiva (a biodiversidade). A propriedade dos genes, de serem replicados com alta fidelidade, é semelhante à dos cristais. Os fios de polinucleotídeos são replicados como as placas ou superfícies de cristais, por regras simples de complementaridade (purinas: pirimidinas; G : C; A : T, em DNA, ou A : U, em RNA). Tal regularidade confere estabilidade às espécies, através das gerações reprodutivas. A estabilidade corresponde à repetitividade com que pode obter sempre as mesmas proteínas ao longo do tempo, por cópias e traduções sucessivas dos mesmos genes. A estabilidade dentro de cada geração e através dessas, incluindo todas variações ao longo do processo evolutivo, depende da universalidade do Código Genético.

A seqüência de aminoácidos de uma proteína (estrutura primária) tem sua correspondente seqüência de nucleotídeos em um gene. Do mesmo modo, o conjunto das proteínas de uma célula (proteoma) terá seu correspondente genoma. No entanto, essa correspondência não é estritamente de 1 para 1, não é bi-unívoca. O proteoma é maior que o genoma, desde que uma proteína pode ser composta por união de segmentos diversos de genes: um segmento de um gene pode participar da composição de mais de uma proteína; os vários segmentos de um gene podem ser combinados de formas distintas, gerando várias proteínas, e assim em diante. Por isso, pode-se dizer que o sistema celular global é que define, a partir da proteína que será necessária a cada momento e contexto funcional, o modo como o genoma será lido para produzi-la. O sistema define o gene.

O genoma é um banco de dados, construído pelo sistema ao longo de sua evolução, contendo informação para síntese de seqüências de proteínas, mas não as define completamente. Essas recebem muitas modificações após a síntese pela tradução. A definição surge no processo de funcionamento do sistema. O genoma é como uma biblioteca de sentenças, uma enciclopédia de verbetes, cada um correspondendo a uma proteína ou segmento de uma proteína. O processo é como o de montar palavras por composição de prefixos,

porções intermediárias (radicais) e sufixos; poucos desses segmentos podem gerar uma enormidade de palavras. Estamos acostumados a ver como cada verbete pode ter vários sentidos, de acordo com os contextos em que podem ser utilizados. Para construir-se um texto, a cada momento, podemos coletar os verbetes necessários e arranjá-los adequadamente. É também, na terminologia da internet, como construir hipertextos. Cada segmento só precisa ser localizável com facilidade. Assim, a enciclopédia genômica nem precisa ser bem ordenada quanto ao significado de cada segmento, como em arquivos de pastas e gavetas ou em prateleiras de bibliotecas, organizadas por assunto ou tema, mas pode conter somente um código identificador do segmento. Nas enciclopédias, em geral, a ordenação é pela ordem alfabética das letras; nas bibliotecas, podemos ter os códigos de barras para uma numeração; nos genomas, pelas seqüências de nucleotídeos de sítios que chamamos de reguladores, promotores etc.

O genoma se torna inteligível a partir de atuação de uma boa rede ou um bom sistema de 'bibliotecários', recuperadores das informações dispersas. O sistema possui a informação organizadora e construtora dos textos que são adequados a cada contexto.

9. INTEGRAÇÃO

A funcionalidade depende do conjunto de proteínas das células. As proteínas constituem a maior parte da estrutura das células, construindo suas formas, e são seus principais elementos funcionais, como enzimas. As enzimas têm grau elevado de especificidade funcional, cada uma especializada para reações de transformação de certos substratos em produtos, mas sempre preservando algum grau de plasticidade, podendo aceitar substratos alternativos. Enzimas são o tipo biológico dos catalisadores: elementos que participam de uma reação química, facilitando-a, tornando-a mais rápida e eficiente, com menor gasto de energia e tempo, mas não se consomem no processo. Portanto, podem ser utilizadas repetidamente.

Os catalisadores não fazem nenhuma atividade essencialmente nova porque as mesmas reações podem ocorrer espontaneamente, mas em taxas menores. No entanto, para o funcionamento eficiente, característico das células, as atividades das proteínas são essenciais, não sendo possível se imaginar células sem um grande conjunto delas.

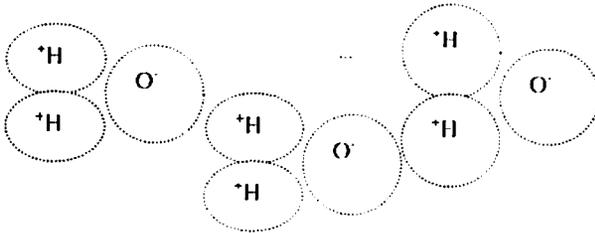
Algumas enzimas são dependentes, para sua atividade, de metais. Sugere-se que, em momentos primitivos de evolução das células, os metais tenham sido mais importantes como catalisadores, e que a sua 'adoção' pelas proteínas tenha sido somente um meio de acelerar as reações e aproveitar ainda mais suas propriedades. Atualmente, conhecem-se outros tipos de catalisadores biológicos, constituídos por RNA, chamados de ribozimas, mas são minoritários em diversidade. Há, também, sugestões de que as ribozimas possam ter tido papel maior que o das proteínas em estágios primitivos das células, além de serem ainda essenciais em certos passos da fisiologia celular, não tendo sido substituídos completamente pelas enzimas.

Outros polímeros das células, como amido e glicogênio, são menos nobres, atuando somente como reservas de nutrientes, e são produzidos pelas enzimas. As membranas, com forte participação de lipídeos, são muito importantes nas células atuais, mas não são polímeros e as funções de interface semi-seletiva com o ambiente aquoso podem ter sido cumpridas, em células primitivas, somente pelas proteínas.

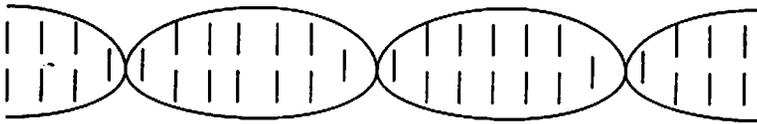
O funcionamento das proteínas decorre de sua aquisição de estruturas espaciais, conformações tridimensionais específicas. As duas fitas do DNA se enrolam formando uma escada torcida, a dupla hélice regular e monótona (Figura 3b). A fita singular do RNA pode adquirir conformações um pouco mais complexas, enrolando-se sobre si mesma (Figura 3c). Quando segmentos encontram pares adequados com outros segmentos, farão também duplas hélices, estas ficando entremeadas com alças que permanecem em fitas simples. Nas proteínas, também em fitas singulares como o RNA, mas com o alfabeto (20 'letras' de aminoácidos) maior que o dos ácidos nucleicos (os 4 nucleotídeos), as possibilidades tridimensionais são enormes (Figura 3d). Se o conjunto de seqüências possíveis de proteínas de tamanho 100 é 20^{100} , as possibilidades de conformações seriam ainda maiores! As proteínas interagem umas com as outras, com os ácidos nucleicos e com os substratos a serem transformados, através das

Figura 3 - Estruturação espacial de biomoléculas no ambiente aquoso.
Os esquemas não obedecem as escalas de tamanho naturais.

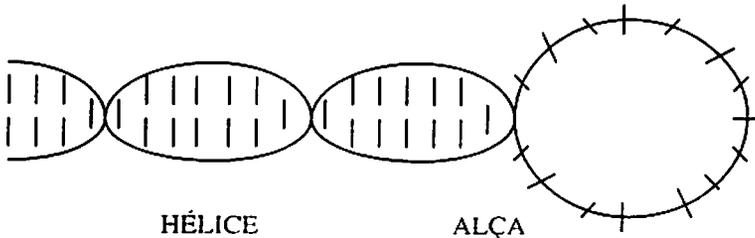
(3a) **ÁGUA.** A disposição das moléculas é regular, com alinhamento ditado pela polaridade dos ^+H e O^- ; cada molécula pode ser descrita como uma hidroxila (HO^-) mais um próton H^+ .



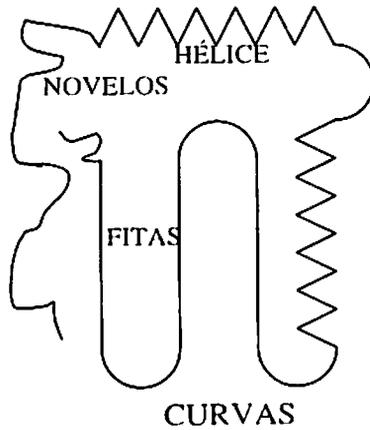
(3b) **DNA.** As bases, mais hidrofóbicas, se situam no interior da dupla hélice; as cadeias repetitivas de açúcares e fosfatos são hidrofílicas, externas.



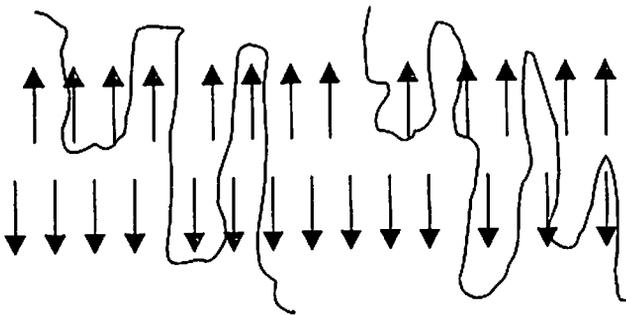
(3c) **RNA.** As alças têm ampla liberdade de conformações. Nestas, os radicais dos nucleotídeos podem interagir interna ou externamente.



(3d) **PROTEÍNA.** Fitas são mais hidrofóbicas e mais internas, novelos e curvas mais hidrofílicos.



(3e) **VESÍCULA.** Segmento de membrana lipoprotéica. Setas representam lipídeos, com pontas hidrofílicas e hastes hidrofóbicas, acomodados entre proteínas; as porções hidrofílicas protudem para as superfícies, o interior é hidrofóbico.



superfícies assim formadas, como 'relevos geográficos' mutuamente adequados às moléculas interativas.

A aquisição da conformação adequada pelas proteínas não está determinada pela sua seqüência de aminoácidos. Por conseguinte, também não está escrita nos genes. A seqüência de aminoácidos oferece múltiplas possibilidades de conformações, pode estabelecer limites ao número de conformações possíveis, mas as conformações funcionais, fisiológicas, serão algumas poucas dentre essas, ditadas pelo contexto sistêmico em que a proteína se insere, a cada momento.

Podemos, nesse estágio do desenvolvimento da explicação, dizer:

um ser vivo é um *sistema funcional*,
a **célula** é o sistema funcional biológico *mínimo*, e
os **constituintes fundamentais** da célula são *nucleoprotéicos*.

..

10. MORTE

O conjunto das macro e micromoléculas de uma célula funciona integradamente. Há subconjuntos que lhe dão forma, outros fazem nutrição, respiração, excreção, movimentos etc., e o conjunto global realiza as atividades vitais. Estas podem ser reduzidas ao mínimo, ou até serem suspensas, em condições extremas de dessecação ou de resfriamento. Nesses extremos, exigem-se condições especiais para que as estruturas não se estraguem e permitam a retomada das atividades integradas no retorno à hidratação e às temperaturas adequadas. O dessecação quase absoluto, com manutenção da viabilidade, foi observado, p. ex., nas sementes recuperadas de tumbas egípcias, que não se desintegraram nem apodreceram por cerca de 5000 anos! O resfriamento é mais perigoso, se a água não for removida ou substituída por outro líquido adequado, para evitar a formação de cristais, quando se alcança o congelamento; o crescimento dos cristais rompe as estruturas celulares. É mais comum, nas indústrias e laboratórios, a prática da liofilização, combinando-se dessecação e resfriamento lentos e graduais. Elevação exagerada de temperatura ou submissão das células a outras condições ambientais mais drásticas, de diversos tipos, podem ser irreversíveis.

A suspensão temporária das atividades vitais não leva, necessariamente, à morte; esta decorre de perda irreversível da possibilidade de (re)integração funcional do sistema. Células dessecadas ou congeladas não estão vivas, porque não funcionam, nem mortas, porque podem ser reavivadas. Aos que querem que vida seja uma entidade peculiar, de pleno direito, onde está, quando os sistemas estão parados? Estaria latente, dormente, seria só potencial, aguardando água ou temperaturas mais amenas?

11. FRONTEIRAS

Estamos acostumados a descrever a membrana plasmática, que limita o citoplasma e o ambiente extracelular, como uma dupla camada de lipídeos agregados e justapostos uns aos outros, em arranjo fluido, dentro da qual se inserem proteínas. No entanto, uma interpretação atual sugere a possibilidade oposta como mais simples para as origens: as fronteiras poderiam ter sido somente protéicas, às quais se acrescentaram os lipídeos, mas o mais plausível é que teriam sido sempre mistas de proteínas e lipídeos (Figura 3e).

No ambiente aquoso, os aminoácidos polares e hidrofílicos permanecem na superfície, interagindo com a água (Figura 3a), mas os apolares e hidrofóbicos são empurrados para longe da água, para o centro da proteína ou do agregado. Ácidos nucleicos, também, se organizam com as porções hidrofílicas voltadas para o exterior aquoso, as hidrofóbicas sendo empurradas para o interior. Tal acomodação estrutural é espontânea, regida por leis físicas. Tais arranjos são similares aos das micelas, monocamadas de lipídeos, típicas das suspensões de sabões. Se o mesmo arranjo acontecesse nas células, resultaria em barreiras adequadas para concentração e conservação interna somente dos elementos hidrofóbicos.

O enclausuramento dos elementos hidrofílicos, além dos hidrofóbicos, dependeu da adoção de estruturas de superfície em camadas duplas, como as formadoras das capas de vesículas (Figura 3e), típicas das membranas celulares. Essas são, também, obtidas espontaneamente. Na superfície externa da camada externa, interagindo com o ambiente aquoso, e na interna da camada interna, interagindo com o meio intracelular, também aquoso, concentram-se os radicais polares. Pelo contrário, um ambiente intramembranal se forma, onde se localizam

os radicais apolares e hidrofóbicos, e serve de barreira, principalmente, aos componentes hidrofílicos. Em consequência da dupla barreira, grande porção das trocas com o ambiente passa a ser dependente de transporte ativo, mediado por atividades específicas de proteínas. Essa compartimentação complexa é considerada fundamental na evolução da célula. Formam-se estruturas globulares, fibrilares ou superfícies mais planas distribuídas pelo interior da célula, ou agregados maiores como as organelas, e a membrana plasmática externa. As interfaces ou fronteiras célula-meio (ou meio interno-externo) são semi-permeáveis, mantendo interações e trocas ecológicas, não tão exclusivistas como as inteiramente lipídicas. A imagem da protocélula é de uma gota de macromoléculas coesas.

Esses agregados orgânicos funcionais tornaram-se *indivíduos metabólicos*. Os componentes micromoleculares do ambiente tinham dificuldade de penetrar no interior das vesículas, não as perturbando tanto como ocorreria se tudo estivesse em contato livre. Do mesmo modo, os componentes micromoleculares produzidos pelo metabolismo ficaram concentrados, não se difundindo livremente, não sendo perdidos para o ambiente, e puderam, mais facilmente, participar da formação dos ciclos e teias funcionais.

12. REDES METABÓLICAS

As macromoléculas (polímeros; genes, RNA e proteínas) podem interagir umas com as outras por contato direto de superfícies, mas as transformações metabólicas dos nutrientes envolvem, também, uma variedade enorme de micromoléculas, desde água e metais até compostos orgânicos, lipídeos, açúcares, bases nitrogenadas etc. Essas participarão das interações entre as macromoléculas, mas apresentam maior mobilidade por difusão no ambiente aquoso. Assim se identifica um dos componentes fundamentais da *aleatoriedade* na fisiologia: quando um produto de uma enzima vai se tornar substrato de outra, pode alcançar esta com retardos, adiantamentos ou variações de concentração ditados por colisões difusionais. Nas cadeias metabólicas, em que um substrato vai sendo sucessivamente transformado por diferentes enzimas até alcançar a forma final, capaz de atuar em outra etapa da fisiologia, as enzimas estão unidas por tais elos 'quase virtuais' de substratos e produtos difusíveis. Como pode tal sistema funcionar a contento?

A imagem é de uma teia ou rede em que os nós são as macromoléculas e os fios as micromoléculas flutuantes em água. Os encontros significativos, que garantem a fisiologia, têm que ser 'cognitivos' (mutuamente adequados e estáveis) apesar da difusão, onde todos podem colidir com todos. O percurso evolutivo seguido (mais fácil, mas enganosa, seria a terminologia teleológica 'estratégia') foi de (a) enclausurar os componentes em ambientes pequenos, pelos sistemas de membranas. Uma célula se tornou um *indivíduo*, com diâmetro 'médio' de cerca de 0,01 mm, e contém ainda compartimentos internos. As membranas são (b) semi-permeáveis, com componentes lipídicos que limitam fortemente a passagem de compostos hidrofílicos, muitos destes sendo transportados por proteínas. As concentrações das micromoléculas têm que ser (c) altas o suficiente para garantir o alcance dos alvos em tempo adequado. A colisão significativa ou cognitiva será (d) aquela em que as superfícies dos reagentes se ajustam bem e resultam em afinidade mais forte do que a agitação térmica das moléculas.

13. MEMÓRIA EM CICLOS

Vimos acima que um modo de estabilidade do sistema biológico deriva da genética: os mesmos tipos de estruturas primárias dos RNA e proteínas podem ser obtidos, repetidamente, por cópia e tradução dos genes (memória em fitas). No entanto, o funcionamento do sistema depende das conformações dos RNA e proteínas, que não são ditadas pelos genes, mas por interações desenvolvidas no contexto sistêmico, organizado em redes. Por outro lado, sabemos que o fenótipo (a forma manifesta de cada indivíduo) também mantém certa estabilidade ao longo do tempo. Por exemplo, os hepatócitos e os neurônios, depois que se formaram, em geral, não retornam a formas anteriores de sua ontogênese nem geram outros fenótipos, e seus genes são os mesmos dos outros fenótipos celulares. As redes interativas de cada célula são próprias delas e se mantêm estáveis, até por várias décadas, em vertebrados longevos como os humanos.

Tal regularidade das redes, no tempo, deve ser obtida pela formação de, pelo menos, algumas conexões garantidamente mais fortes. O modo mais simples de obtenção de tais 'centros de memória' é pela formação de ciclos funcionais. Nas redes, cada triângulo, quadrícula

ou arranjo fechado maior, é um ciclo funcional. Alguns serão mais fortemente conectados que outros, e uma rede de ciclos interconectados é chamada de um *hiperciclo*. Um ciclo estável deve conter pelo menos três elementos, a menor figura geométrica capaz de produzir um 'centro', ainda que virtual. [Tais configurações 'centradas' são mandalas, que todas culturas produziram, como parte de suas intuições e pesquisas em tentativas de conseguir entendimentos holísticos, de composição de partes em 'totalidades' globais. Na nossa cultura cristã, derivou-se a estrutura da Santíssima Trindade a partir das três divindades maiores do hinduísmo, Brahma, Krishna e Vishnu, importadas através da Pérsia.].

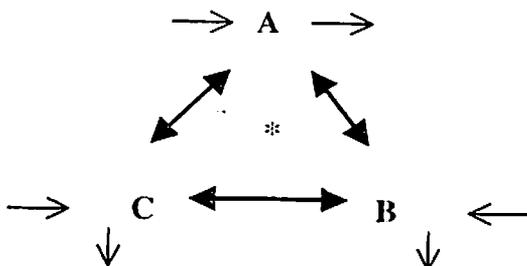
Se cada um dos três elementos (enzimas) tem plasticidade suficiente para ser estimulado por pelo menos um de dois efetores (ou substratos) e se conectar através dos produtos com pelo menos um de dois outros elementos, o 'fechamento' (mas não isolamento) de ciclos funcionais será consequência obrigatória, ainda que com probabilidades variáveis, dependendo do tamanho (número de elementos) da rede. Ao se fechar um ciclo, ele pode se tornar auto-estimulado e perene, independente do estímulo original que o gerou. Seu funcionamento mimetiza o decorrente do estímulo original, como que mantendo-o prolongadamente, mesmo que este tenha parado, o que equiivale à manutenção da memória daquele. Tais ciclos podem ser observados como componentes 'centrais' dos mapas metabólicos que os livros de bioquímica nos apresentam, como pontos de convergência ou divergência de várias cadeias metabólicas: o ciclo do glioxilato, o dos ácidos tricarboxílicos, o da uréia etc. Ao contrário das cadeias metabólicas lineares, que são dispersivas, os ciclos são conservadores (econômicos), com reaproveitamento continuado dos produtos de um passo como substrato para o seguinte. Não há mais início e fim bem marcados; pode-se percorrer todo o ciclo a partir de qualquer ponto. Não são configurados como *moto perpetuo*, porque os componentes são orgânicos e lábeis, com longevidade limitada, precisando serem repostos, portanto, gastando energia no percurso, mas são estáveis (Figura 4).

Em tais estruturas circulares, os catalisadores não são somente enzimas, como na circunscrição tradicional do metabolismo, mas também RNA. Com a descoberta das ribozimas, nossa interpretação sobre as funções dos RNA os retirou da condição de intermediários nos percursos da tradução, entre o DNA e as proteínas - como

mensageiros, adaptadores (tRNA) entre os códons e os aminoácidos, e componentes estruturais dos ribossomos - e os colocou como participantes integrais das transformações metabólicas. Adotamos essa definição mais ampla de metabolismo, englobando todos os tipos e

Figura 4 - Estabilidade por formação de ciclos auto-alimentadores.

Um mínimo de 3 catalizadores (A-C) são necessários para formar ciclos de realimentação mútua, que se estabilizam. Setas finas indicam interações com outros componentes da rede. *, centro virtual.



O esquema acima mostra os processos de transformações e produções que a célula pratica, incluindo os temas mais típicos da biologia molecular, esta se referindo mais ao trabalho do sistema sobre os genes e sua expressão em proteínas.

Ciclos que se tornaram mais interessantes para a biologia foram os: (1) de reaproveitamento (reciclagem) e de reposição. Dentre os ciclos formados por enzimas, deve haver alguns que produzem aminoácidos; dentre os formados por ribozimas, deve haver alguns que produzem nucleotídeos; os sistemas de degradação de proteínas e de ácidos nucleicos, devem ser acoplados aos de seu reaproveitamento, nas respectivas polimerizações; (2) os auto-catalíticos, em que um catalisador atuante no ciclo é produzido pelo próprio ciclo. Variações na especificidade dos componentes dos ciclos poderão formar multiplicidades de ciclos parcialmente redundantes.

Não parece ser possível estocar instruções para formação de tais arranjos sistêmicos, de ciclos funcionais acoplados em redes de 'processamento paralelo', nas estruturas de memória lineares, como as

fitas genéticas. Os programas de computadores estão repletos de nós decisórios que remetem à formação de alças e ciclos, como: 'se A, então, B', 'se A e B, então, C', 'se A ou B, então, D' etc. É somente possível produzir as estruturas poliméricas com manifestação de afinidades que propiciarão as interações funcionais. Estas ocorrerão no contexto sistêmico, decorrentes de coesão entre macromoléculas e entre essas e as micromoléculas mais livremente difusíveis, mas com amplo espaço para aceitação de modulações.

14. CÓDIGOS, INFORMAÇÃO

Informação é o conjunto de significados de uma palavra, que produz interação entre os comunicantes. Na química, informação é o conjunto de possibilidades interativas de um átomo ou molécula.

Quando descrevemos a célula, em termos químicos, temos que usar a simbologia da Tabela Periódica dos Elementos atômicos e a das estruturas moleculares, encadeando os monômeros para descrever os polímeros, ou fazendo desenhos de moléculas circulares, destacando os radicais expostos, como as aminas (-NH₂) ou hidroxilas (-OH) etc. Estes radicais são participantes importantes nas interações entre as moléculas.

Interações são as 'colas ou adesivos' que associam e organizam elementos em sistemas. Surgem quando as propriedades de um elemento encontram as de outro. Se as interações são estabilizadoras do encontro, os elementos se tornam componentes de um sistema que se forma. As destabilizadoras participarão de outras propriedades do sistema, indicando as interações dispersivas, que afastam certos elementos. Há toda uma gradação na sucessão, praticamente infinda, de sistemas embutidos uns dentro de outros, desde os átomos até o cosmos, cada um se tornando, em cada passo de complexificação, um subsistema dentro de outros maiores. Uma boa representação seria a das cascas de cebola, cada uma acrescentada ampliando o sistema global e tornando a anterior um novo subsistema; cada casca seria um ciclo e o conjunto um *hiperciclo*.

As interações são baseadas em ligações fracas, mas podem atingir alta estabilidade, afinidade ou especificidade frente a várias perturbações quando as ligações são numerosas e com bom ajuste de superfícies e

encaixes entre as moléculas interativas. A imagem é ao modo de chaves e fechaduras, mas em dinâmica contínua. Seus contatos estão sendo desfeitos e refeitos constantemente.

Assim, as afinidades medidas (por 'termos constantes', indicadas por K) indicam, realmente, as frações de tempo em que as moléculas permanecem associadas ou estão separadas. Pode-se dizer que a afinidade elevada entre duas moléculas corresponde a menor plasticidade da interação, porque ela se torna menos suscetível a interferência (ruído) por outros fatores, como temperatura, acidez ou concentração salina do meio etc. Do mesmo modo, mais plasticidade indica maiores aberturas ou possibilidades de interações reguladoras ou moduladoras. As interações dependem das superfícies dos reagentes e de seus radicais expostos serem adequados, mas ocorrem ainda mudanças de conformação dos polímeros durante o processo, 'induzidas' pela interação. A proteína teria, anteriormente, grande 'espaço de variação' de conformações, amplos graus de liberdade de movimentos e interações. Com a ligação do substrato, tais graus de liberdade são reduzidos e as conformações dirigidas em sentidos específicos, de modo que outras possibilidades interativas serão modificadas (facilitadas ou dificultadas).

A conclusão extraída dessas observações é de que as seqüências dos polímeros não contêm, determinadas nelas, as funções finais. Essas são múltiplas e podem ser modificadas pelas interações em que se envolverão. Assim se diz que as seqüências contêm uma parte da informação; outra parte pode estar simplesmente permitida pelas seqüências, como um leque de possibilidades, a ser definida posteriormente, a cada contexto interativo.

A observação de que os processos evolutivos, como a seleção natural, atuam predominantemente sobre os fenótipos, sobre o desempenho interativo do organismo completo no ambiente, especialmente decorrente de reprodução diferencial, introduz outro argumento contra o antigo e ingênuo determinismo genético. Se tal desempenho é global, holístico, não há como referi-lo a um gene ou ao conjunto dos genes, mas somente ao sistema como um todo, incluindo todas as interações que se desenvolveram. Pode-se dizer, no entanto, que uma parte da 'informação' biológica foi estocada e vem sendo continuamente editada nas seqüências gênicas, incluindo as mutações e combinações que o indivíduo pode passar a seus descendentes.

Outra parte pode permanecer estocada em outros tipos não genômicos de estruturas de memória, como as cíclicas descritas acima. Essas estruturas seriam portadoras de 'significados' relativos ao desempenho do sistema, como desejam as propostas da bio-semiótica e da bio-semântica.

Destaca-se que o *código genômico* se refere às seqüências dos genes ou de seus conjuntos: uma parte da informação (significado) referente ao desempenho metabólico e reprodutivo foi sedimentada nos fios e fitas das seqüências genéticas.

15. AUTOPOIESE

A célula contém conjuntos interconectados de hiperciclos em redes ou teias, comunicantes semi-abertamente com o ambiente externo. Ela depende do ambiente, pelo menos como fonte de nutrientes, e este é modificado por ela, pela retirada dos nutrientes e por modificações produzidas pelos seus excreta e outros produtos. Alcançamos, então, uma definição mais precisa:

célula *é um sistema metabólico,*

viver *é metabolizar, realizar as funções e transformações que constroem o sistema.*

O ambiente pode ser somente inorgânico e muito simples para as células chamadas de autotróficas (*auto* indica síntese endógena da matéria orgânica), divididas em foto e quimiotróficas. Para as fototróficas, a fonte solar de energia é utilizada para reduzir matéria gasosa (CO , CO_2 , N_2), combinando-a com hidrogênio (H_2 , como tal ou proveniente de SH_2 ou água), assim obtendo matéria orgânica. Nas quimiotróficas, prescinde-se da energia solar, obtendo-se energia redutora a partir de minerais. Os ambientes destas podem estar quilômetros abaixo da superfície atmosférica, nos fundos dos mares, especialmente em fontes hidrotermais ou vulcões submersos, ou até dentro de rochas.

O percurso indica que as primeiras células devem ter sido heterotróficas (*hetero* indica fonte exógena de matéria orgânica), com metabolismo pobre e pouco elaborado, dependentes de matéria orgânica proveniente de sínteses abióticas. A autotrofia se

desenvolveu após os primeiros heterotróficos e se tornou a base para o aparecimento, posterior, de outros heterotróficos. O termo autotrofia recebeu, mais recentemente, outro quase sinônimo, autopoiese. *Poiese* é produção, o mesmo elemento utilizado para denominar o processo de formação das células sanguíneas, a hematopoiese (*hemo* se refere a sangue). Nos autotróficos, as células produzem seus constituintes próprios, a matéria orgânica, a partir de matéria inorgânica. A introdução do termo autopoiese, belo e bastante significativo, pela escola de Humberto Maturana, foi interessante, mas veio acompanhada de todo um grande desenvolvimento teórico, que não precisa ser considerado para as finalidades presentes e nem adotado acriticamente, em toda sua amplitude. Nossa adoção do termo como quase sinônimo de autotrofia é, obviamente, uma supersimplificação em relação à Teoria da Autopoiese. No entanto, consideramos que a proposta deste uso deve estimular discussões esclarecedoras.

16. PERSPECTIVAS

Uma das grandes mudanças de perspectiva ocorrida no fim do século XX foi a de considerar o processo biológico não como uma exceção no universo, uma 'singularidade' como costumam dizer os cosmólogos do 'big bang', mas evento que poderia ser chamado de corriqueiro, desde que se tornou suscetível de abordagem experimental. A complexidade dos seres vivos era considerada enorme e a vida evento único. Agora, já se pensa o oposto: o universo seria um bom anfitrião ou semeador de vida. Com a abundância de matéria prima no espaço cósmico, sua organização em sistemas funcionais seria relativamente 'fácil'. O único fator considerado seriamente limitante, no momento, seria a existência de água líquida, para formas vivas semelhantes às conhecidas na Terra, ou outro líquido, para outras ainda baseadas em difusão em fluidos. Não se sabe se seres vivos poderiam ser baseados em fluidos gasosos ou em sólidos.

Na Terra, não há muita esperança de que formas primitivas da evolução biótica (as primordiais ou outras mais recentes) sejam encontradas, porque os seres vivos atuais, muito vorazes, já preencheram todo o espaço, tornando-o nichos biológicos, e as teriam devorado.

PARTE II: COMO A VIDA SE MANTÉM: CRESCER E MULTIPLICAR

I. IRRITABILIDADE

O ser vivo é 'irritável', reage ao ou interage com o ambiente, mas as discussões são acaloradas, nas diversas interpretações com respeito à qualificação dessas interações.

Essas são consideradas mínimas e até irrelevantes na Teoria da Autopoiese. Os seres vivos seriam entidades produtoras de si mesmas e fechadas sobre si mesmas, desempenhando suas atividades autonomamente, quase como robôs 'cegos'. As interações com o ambiente seriam somente incidentais, casuais. Se adequadas à sobrevivência do ser vivo, este continua mantendo sua autopoiese. Se não, este morre. Não há como negar que células sejam sistemas termodinamicamente abertos, mas se diz que são fechados a informação exógena. Assim, o próprio conceito -de adaptação, tão importante na filogênese darwiniana, teria que ser reinterpretado; não decorreria de interações, mas de desenvolvimentos somente internos aos organismos que, simplesmente, 'deram certo'. O 'fechamento' autopoietico é interessante como demarcação metodológica, chamando atenção para estudo particular do 'endógeno' mas, a meu ver, esbarra em dois conflitos: a) com a proposta de origem da vida por geração espontânea, em que a matéria orgânica pré-biótica se organizou em um sistema vivo, com congruência e continuidade, a abertura sendo primordial e não podendo ter sido eliminada com o semi-fechamento do sistema; b) com a formação imediata, logo após a primeira reprodução, de comunidades bióticas amplamente comunicantes e abertas para trocas, evidenciadas pela observação de receptores especializados e receptividade até para genes exógenos, como os virais, que a engenharia genética aprendeu a manipular.

A vertente chamada de Auto-organização por Ruído diz que o sistema interno ao ser vivo é perturbado pelas interações com o ambiente mas é capaz de melhorar seu desempenho, como que incorporando o ruído e as 'flutuações' (variações de intensidade) nas funções, alcançando novas formas de organização. A autopoiese diz que o ruído não é capaz de modificar a organização do ser vivo e esta é uma só. As mudanças que este desenvolve seriam de origem somente endógena, em deriva fenotípica.

Outra vertente, dentre as diversas que se chamam de Auto-organização, defendida por Michel Debrun, aceita que formas organizadas podem surgir espontaneamente, sem serem ditadas por agentes organizadores externos, mas derivadas de propriedades informacionais intrínsecas aos componentes de uma coletividade interativa. O modelo de formação de ciclos explicitado acima, desenvolvido por Stuart Kauffman, pode ser enquadrado neste contexto. Um argumento importante para propor a espontaneidade no surgimento das formas "organizadas é o de que a seleção só pode, como o nome diz, atuar sobre as variedades pré-existentes e deve, portanto, ser posterior à auto-organização.

O outro extremo das teorias diz que as interações com o ambiente são informacionais e até cognitivas. O ser vivo se nutre de informação ou ordem externa, incorporando-a a seus mecanismos. Explica-se o aumento de ordem interna aos organismos e o da desordem provocada no ambiente externo considerando-se, p. ex., que a própria energia fotônica é portadora de informação; esta é entendida como algum grau de ordem ou organização que permite aos elementos participarem da formação de sistemas interativos. Uma parte desta é incorporada à matéria orgânica e outra se torna desordenada e retorna ao ambiente, como calor. Configuram-se como *estruturas dissipativas*, sorvedouros de energia que se organizam, no sentido de Ilya Prigogine. São os da interpretação termodinâmica, dizendo que o ser vivo se alimenta de neguentropia (entropia negativa) e expele entropia.

No extremo cognitivo estão os semióticos. Consideram o ser vivo como entidade computacional, que capta informação até muito elaborada do ambiente, interpretando-a e processando-a, depois respondendo com seus comportamentos.

A grande diversidade dessas descrições é reveladora de parcialidade ou de perspectivas estreitas nas abordagens. Uma composição equilibrada de todas é necessária, a ser guiada pela perspectiva evolutiva. A biodiversidade apresenta duas grandes classes de percursos, que poderão receber subdivisões. O primeiro se restringe ao aspecto comum a todos seres vivos, podendo ser resumido como metabolismo de trocas energéticas e químicas. Este descreve bem somente o modo de vida dos procariotos, protistas e boa parte dos fungos, que privilegiaram a simplicidade estrutural, com poucas diferenciações celulares, e a rapidez reprodutiva. A outra rota foi dos

multicelulares mais complexos e lentos, plantas e animais, percorrendo 'estratégias' mais fortemente regulatórias.

As elaborações de comportamentos que muitos organismos desenvolveram podem ser tão impressionantes, ao ponto de tornar perplexos os observadores e difícil a aceitação ampla de que surgiram de um processo evolutivo natural, sem a interferência de uma entidade criadora inteligente sobrenatural, ou sem a incorporação, ao processo, de energias vitais ou espirituais específicas. Não nos parece produtivo o engajamento em discussões polarizadoras e fundamentalistas, como as entre evolucionistas *versus* criacionistas ou materialistas *versus* espiritualistas, que freqüentemente desembocam em agressividade, por falta de entendimento e de respeito mútuo. Acho que o principal ingrediente moderador de tais discussões seria propor que todas facções são limitadas e tais limites ainda não estão definidos ou nunca o serão, se nossa própria mente pode ser limitada. A ciência é empreendimento humano ainda muito recente e jovem. Em seu crescimento, conseguiu esclarecer e reduzir o âmbito de muitas explicações supersticiosas, mas não pode pretender se contrapor à fé religiosa nem se tornar outra crença.

2. SENSIBILIDADE

Tento colocar-me dentro da célula, sentir suas 'angústias'. Será que uma célula teria condições de 'sentir' ou tal percepção depende estritamente da intermediação de um sistema neural complexo? Se somente esta última opção é possível, restam analogias.

Ser feliz seria metabolizar a contento.

Há que receber substratos e energia de modo que o fluxo siga livre, mas não é preciso pressa, pode ser devagar. A expressão 'gostar' de algo pode ser traduzida pelos conceitos físicos e químicos de 'demonstrar afinidade' por aquela coisa. Ao contatar um nutriente, as estruturas celulares relacionadas com a nutrição são mobilizadas em direção ao seu sítio de entrada e podem até produzir movimentos na direção da fonte, estimulados pela sua persistência. São os diversos tipos de tropismos energéticos e químicos.

Quando células de um organismo deparam-se com certo substrato que é forçado a entrar em excesso e se acumula antes de passos mais lentos do metabolismo, quando esses passos sofrem inibição por outras substâncias conflitantes com os substratos normais, ou são constitucionalmente deficientes, geram-se represamentos, entupimentos ou transbordos que podem prejudicar o sistema e pressionam uma solução. Um sistema neural complexo seria capaz de perceber e exprimir tais bloqueios, com solução difícil ou demorada, surgindo os sentimentos de pressa, ansiedade e os desejos da psicanálise.

Não consigo 'sentir' um corolário celular ou molecular do 'desejo' por falta ou escassez de algum elemento importante para os sistemas. A proposta de 'causalidade por ausência' é a base do raciocínio comum, de que a falta de um gene ou proteína é causa de uma deficiência ou doença. Tal argumentação se baseia somente em comparações que se fazem entre sistemas parecidos entre si, um completo e outro com falta de algum elemento. Atribui-se a diferença ou deficiência funcional à diferença estrutural, ao elemento faltoso. No entanto, não faz sentido a proposta de que a falta de algum elemento possa ser causa de algum efeito. As causas de sentido positivo, descritas no parágrafo acima, devem ser as atuantes. Em escassez moderada, o sistema inteiro passa, coordenadamente, a prosseguir mais lentamente. Quando a escassez é intensa, a ponto de provocar restrições à necessária reposição de partes estragadas, o catabolismo (processos degradativos) pode passar a superar o anabolismo (processos sintéticos), chegando-se ao esgotamento de certos passos necessários ou geração de tóxicos sobre outros. Será que uma célula teria condições de sentir tais faltas ou 'vazios', saber que lhe falta energia (ATP ou outros compostos) ou que o anabolismo está se tornando deficiente, manifestando o desejo básico da fome?

3. FRAGILIDADE

Note-se que as proteínas se iniciam por H_2N- , a extremidade do primeiro aminoácido, e terminam em $-COOH$, a extremidade do último (Figura 1). Na formação de cada uma das ligações internas entre os aminoácidos, para formação do polímero, forma-se uma molécula de água. O mesmo vale para os ácidos nucleicos. A química demonstra que todas as reações são essencialmente reversíveis, em taxas variadas, dependendo dos contextos específicos. Assim, no ambiente

intracelular aquoso, acontece, ainda que em taxas baixas, a reação reversa da polimerização, com hidrólise dos polímeros, sua quebra promovida pela água. Tal fragilidade dos componentes essenciais da célula exige reposição contínua. Há que se substituir os elementos estragados por outros novos, ressintetizados a partir dos genes, ou uma fita estragada destes, a partir da outra. Esse é somente um exemplo simples da fragilidade. Há muitos outros processos lesivos às células, decorrentes da presença de metais, oxigênio, ou outros tóxicos, alguns produzidos pela própria célula, nas transformações metabólicas, outros exógenos, alguns inevitáveis como as radiações cósmicas.

Este seria o nível mais profundo do significado de metabolizar:

viver é se recompor, reformar, refazer, manter-se ativo.

4. CRESCEI E MULTIPLICAÍ

Os sistemas biológicos surgiram na Terra primitiva, deixando fósseis microscópicos, semelhantes às bactérias atuais, com idades de cerca de 3,7 bilhões de anos, segundo as evidências coletadas pela paleontologia.

Dentro daquele período, as protocélulas devem ter 'aprendido', evolutivamente, a metabolizar nutrientes e sintetizar seus próprios constituintes internos, nucleoprotéicos e outros, de maneira tal que pudessem sobreviver a inúmeras intempéries e variações ambientais drásticas. O 'aprendizado' evolutivo significa: desenvolve-se uma variedade de processos; dentre esses, alguns 'darão mais certo que outros' nas interações com o ambiente; os mal sucedidos desaparecem e os bem sucedidos permanecem. Desde que uma linhagem nucleoprotéica semelhante à atual surgiu, outras possíveis morreram ou foram superadas pela série filogenética que nos deu origem. A fragilidade permanece, mas deve até ter se tornado parte do processo evolutivo, portanto, mantida em níveis adequados, com proveito.

Qual seria este 'nível adequado'? Pelo lado da quantificação da fragilidade, nem tão perfeito a ponto de 'congelar' e enrijecer o sistema, assim reduzindo seus potenciais de plasticidade, adaptatividade e evolutividade, nem tão imperfeito a ponto de perder estabilidade. O nível que se mostrou adequado, até o momento foi, p.

ex., o de utilizar DNA polimerases que realizam replicações com erros no pareamento das bases à taxa de 10^{-9} (um em um bilhão). Estima-se que os sistemas primitivos deveriam manifestar erros em taxas maiores, em torno de 10^{-4} (um em 10000).

Por outro lado, a mera reposição das moléculas estragadas, demonstrada pelas medições de tempo de 'meia vida' das proteínas, não é suficiente para garantir estabilidade a prazos mais longos, porque os próprios modelos genéticos para sua ressíntese também se alteram, mudam, estragam e envelhecem, de acordo com as taxas descritas no parágrafo precedente.

O processo evolutivo desenvolveu, pelo contrário, a 'estratégia' populacional, que tem 'dado certo' até o momento: crescer e multiplicar [A Bíblia também o diz!].

No nível sistêmico é, no entanto, até assustador perceber quão errático e 'desperdiçado' o processo reprodutivo se manteve. Em humanos, cerca de 10% dos casais são inférteis, cerca de 50% dos abortamentos precoces apresentam anomalias cromossômicas e cerca de 5% dos indivíduos nascidos manifestam algum tipo de anomalia genética ao longo da vida.

Crescer é fazer os processos anabólicos mais eficientes que os catabólicos, superando-os. As células produtoras de abundância e redundâncias prevaleceram. Redundâncias são repetições. Prevaleceram as duplas fitas sobre as únicas no DNA e os organismos diplóides (com dois cromossomos de cada tipo) sobre os monoplóides, muitos dos genes são repetitivos, e mesmo as proteínas mais escassas nas células ocorrem em elevada multiplicidade.

O crescimento exagerado e o acúmulo das redundâncias internas aumentaram o volume das protocélulas até os limites em que a tensão superficial das camadas externas não era mais capaz de manter coeso o agregado molecular frente à pressão hidrodinâmica. A fissão dos agregados é sua reprodução. Esta se refere ao sistema celular inteiro, é fenômeno que mantém a complexidade através das gerações. Não deve ser confundida com replicação, que se restringe a propriedades moleculares dos ácidos nucleicos e cristais, em geral. Os cristais e polímeros crescem de fora para dentro, por deposição externa (adsorção e acreção), com replicação da estrutura-modelo das camadas

superficiais, formando camadas superpostas, ou por alongamento das placas e fios. Os sistemas metabólicos crescem por dentro, de dentro para fora, quando produzem suas matérias internamente e as acumulam:

viver é crescer por dentro.

Na reprodução, todas as redundâncias do sistema, inclusive as dos ciclos funcionais e de eventuais complexos de macromoléculas ou de organelas, são repartidas entre as células filhas. Quanto maior a redundância de cada componente, mais regular será a semelhança entre pais e filhos, e entre estes, por meros princípios probabilísticos. Nas células atuais, onde se acrescentou a regularidade das duas fitas do DNA, o processo reprodutivo se tornou coerente e coordenado com a replicação prévia dos cromossomos. Os dois termos se tornaram, para alguns, sinônimos. Na realidade, tal sinonímia trouxe mais confusão que esclarecimento. Reproduz-se a célula inteira e transmitem-se réplicas dos genes: Os outros componentes do sistema são distribuídos probabilisticamente às células filhas. A herança sexuada é de gametas inteiros, não somente de genes. Os genes são bancos de dados estáticos, a serem consultados dinamicamente pelos sistemas de expressão, e estes são também transmitidos integralmente e conjuntamente com os genes. Se os sistemas de expressão não forem transmitidos, a célula morre; não há como os genes (ou vírus) poderem viver. Como qualquer molécula ou átomo, podem somente manifestar estabilidade baseada em princípios físicos, como resistência à degradação. O modo de se conseguir estabilidade, nos sistemas biológicos, foi o de reposição molecular associado com a reprodução.

A reprodução é, inerentemente, imprecisa e dispersiva. Nenhum filho será igual à célula-mãe. Mesmo os cromossomos serão diferentes, em decorrência de seus grandes tamanhos e dos erros à replicação. Assim, imediatamente à primeira reprodução, já se obtém dois irmãos distintos, uma pequena população que será ampliada. Até os clones serão populações. Sua similaridade interna decorre da origem comum, de uma única célula progenitora. A similaridade entre membros do clone pode ser aumentada, quando cursam interações com ambientes também similares, ou reduzida, quando participam de interações diversificadas.

Por isso, se diz que o entendimento adequado da biologia exige um '*pensamento populacional*'. Desemboca-se aqui em outro aspecto de discussões acaloradas, quanto à ênfase dada seja aos indivíduos ou às populações. Tentar qualquer ênfase dicotômica é colocar mal a questão, deixá-la se contaminar por ideologias polarizadoras: não há como submeter ou oprimir os indivíduos, mas esses só adquirem sentido se inseridos em comunidades ou coletividades, ainda que 'diluídos' nelas.

5. REPLICADORES

A permissividade linguística que leva à confusão de entidades reprodutivas com replicadoras é o defeito fundamental da proposta *genecêntrica*, recentemente capitaneada e eficientemente difundida por Richard Dawkins. Parece que a supervalorização dos genes é reforçada por uma interpretação machista, 'espermatocêntrica' (novamente, ideológica), da observação da redução evolutiva dos espermatozóides.

Os gametas eram, originalmente, células semelhantes uma à outra. Os que passaram a ser chamados de óvulos foram os que se mantiveram grandes. Os que foram denominados espermatozóides puderam ser reduzidos ao mínimo que garantisse a quase-igualdade de contribuições dos gametas. No caso extremo de redução, tornou-se como um 'pacote de cromossomos nucleares'. Tais células tornaram-se liberadas de peso e muito hábeis nadadoras, com grandes chicotes impulsionadores, os flagelos, às vezes um só. À fertilização, em geral, somente o núcleo com seus cromossomos e um pouco de citoplasma penetram o óvulo, formando o ovo, o restante sendo descartado. Por isso, a contribuição materna é predominante, com quase toda a memória metabólica e reguladora, mais as mitocôndrias e seus cromossomos, provenientes da mãe. Assim, valorizar os genes (repito que são meros modelos para replicação) em detrimento da totalidade da célula (funcional e reprodutiva) é valorizar mais os machos. É também, valorizar mais um evento tardio da evolução (redução dos espermatozóides) do que os primeiros (gametas semelhantes entre si) no processo biológico.

6. IDEOLOGIAS

A atribuição de valores é também suscetível a ideologias e tem se mostrado repetidas vezes falha na biologia. Observemo-la agora na controvérsia da primazia atribuída a genes *versus* sistemas metabólicos. Assumo a valorização destes últimos, que espero venham a se tornar 'os primeiros' (em valor). Os genes passarão a ocupar 'o seu devido lugar', como partes do sistema, ainda que importantíssimas.

A sobrevalorização dos genes equivale, analogicamente, à valorização exagerada dos indivíduos (partes) em relação aos sistemas de (sub)populações, sociedades ou espécies. Assume-se postura individualista em vez da comunitária, ou mais socialista, já que é óbvio para os indivíduos, como certos grupos populacionais coesos, serem unidades fundamentais do processo evolutivo. Não foi possível, até o momento, na evolução biológica, observar somente a evolução ontogenética, individual. O processo 'que deu certo' foi o da evolução de populações e a filogenética, com variação e reprodução diferencial, com biodiversidade. A biologia é um contínuo de populações, de conjuntos de indivíduos, não de indivíduos isolados. Apostar no individualismo é negar as trocas entre os componentes de populações, ainda que estas sejam clonais, como muitas bactérias, mas mesmo estas podem passar macromoléculas inteiras umas para as outras. A própria disciplina da genética nasceu da descoberta da 'transformação', em que segmentos genômicos de uma linhagem foram transferidos para outra, diretamente, sem envolvimento de artifícios sexuais ou virais.

A variabilidade ambiental, imprevisível, independente dos seres vivos que a habitam e por isso chamada de aleatória (em relação a eles), é muito perigosa para a vida e esta se vale também de variabilidade. Não há como a célula prever qual será a próxima direção tomada pela variação ambiental.

Sobreviver resulta de um *embate de variabilidade* ou criatividade.

Desde que cada linhagem poderá gerar variabilidades distintas uma da outra, foi útil manter-se certa abertura para o compartilhamento das criações que cada uma foi capaz de desenvolver. As comunidades

sobrevivem melhor do que os indivíduos; em geral, duas linhagens juntas sobrevivem melhor que uma só. Inicia-se o processo de co-evolução de grupos ou espécies, quando esses podem até se tornar interdependentes. Uma interdependência notória, dentre várias outros exemplos que a biologia nos oferece, é a dos sexos de uma espécie. Neste contexto, não há proposta individualista que sobreviva.

Se a biologia é um contínuo de gerações, demarcar compartimentos dentro da continuidade é tarefa inglória, quase impossível de defesa ou consenso. Este será, necessariamente, arbitrário e por 'acordos'. Até uma das mais tradicionais barreiras, a entre germe e soma, foi rompida pelas técnicas de clonagem somática.

7. MUNDO DO RNA

O entusiasmo genecêntrico foi, recentemente, reanimado com a descoberta das ribozimas. Simplificar-se-ia enormemente a questão da origem do sistema biológico ao poder-se colocá-la em um único tipo de moléculas, os RNA. Esses, por possuírem uma hidroxila extra na ribose (em relação ao DNA, que só tem uma), são capazes de se envolver em reações de diversos tipos, como nas transformações metabólicas e, ao mesmo tempo, são constituintes de genes (Figura 5). Assim, pode-se imaginar a origem pelo RNA, tanto do metabolismo como da genética. São, também, polímeros com 'alfabeto' menor e estruturas espaciais mais simples que os das proteínas (Figuras 3c-d).

Tal entusiasmo é justificável e as pesquisas nesse sentido devem prosseguir. No entanto, é pouco provável a hipótese extrema dos defensores de um 'mundo de RNA' puro. Essa proposta tem o mérito de estimular pesquisa e discussão, é estratégia interessante de mercadologia de idéias, mas seus próprios defensores sabem não ser possível a pureza na natureza. Esta é suja, mista, heterogênea. A pureza é necessidade metodológica da química analítica. Ainda estamos começando a aprender a lidar com experimentos em que os reagentes podem ser sujos.

Pelo lado quantitativo, aminoácidos e proteínas são facilmente obtidos em condições abióticas enquanto os nucleotídeos são moléculas já

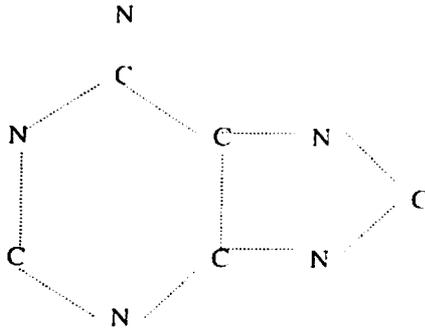
muito complexas, de obtenção difícil e, quando se consegue obtê-los, são misturas heterogêneas, incapazes de formar polímeros regulares como os biológicos. Assim, o mais plausível seria que os RNA regulares se formaram após longo processo de evolução molecular, seja isoladamente ou com adequação mútua às proteínas, em co-evolução pré-biótica. Ainda mais, o RNA é instável, pelo mesmo motivo (a hidroxila extra) que o torna mais reativo e funcional que o DNA, e precisaria de um mecanismo protetor e estabilizador. Por isso, há um esforço intenso à procura de análogos de nucleotídeos e de ácidos nucléicos que sejam mais simples, talvez precursores dos atuais, mais estáveis que os RNA e que mantenham as propriedades destes.

Os genecêntricos dizem que qualidade é mais importante que quantidade e valorizam as propriedades replicativas, próprias dos ácidos nucléicos, que as proteínas não possuem. Os RNA seriam as 'boas sementes' da vida. No entanto, surge o problema de *sustentabilidade*.

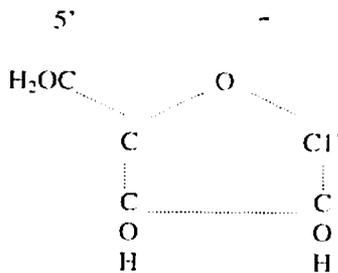
Desde que as possibilidades metabólicas das ribozimas são muito mais limitadas que as das proteínas, um 'mundo de RNA' estaria fadado a esgotamento rápido. Funcionaria como um sorvedouro de energia e somente poderia ter duração significativa se assentado sobre fontes energéticas robustas. Um sistema metabólico similar ao baseado em proteínas seria mais indicado para tal função. A durabilidade dos RNA somente poderia ser garantida se funcionasse como participante de um sistema nucleoprotéico.

Figura 5 - Estrutura geral das bases e açúcares dos ácidos nucleicos.

(5a) Uma purina é composta por dois anéis que podem ser formados abioticamente por condensação de 5 HCN. A purina pode ser a adenina que, junto com a ribose e os fosfatos, forma o ATP, um dos nucleotídeos (ver Figura 2). Pirimidinas são anéis semelhantes ao maior das purinas.



(5b) Estrutura de um açúcar (ribose). Os carbonos do açúcar são numerados com. Na desoxirribose (do DNA), não há a OH do carbono 2, substituída por H.



8. MUNDO RIBONUCLEOPROTÉICO

Essa é a proposta considerada mais plausível. Há que se abandonar a tendência da civilização ocidental de procurar origens únicas, singularidades, percursos lineares com início bem demarcado e localizado.

A proposta ribonucleoprotéica (RNP) indica origem associativa para os sistemas biológicos com nível de complexidade semelhante ao atual. A vida conhecida surgiu quando ocorreu a associação nucleoprotéica. O cerne é o sistema de tradução, que exige atuação conjunta de RNA e proteínas. Aqueles garantiriam a repetitividade, como modelos e catalisadores para replicação e tradução, estas a estabilização dos RNA, a sustentação com matéria prima (material e energética) monomérica e, desde o início ou somente mais tarde, também como catalisadores de replicação e tradução. Os catalisadores podem ser ribozimas ou enzimas. Há que ter fontes metabólicas eficientes de aminoácidos e de nucleotídeos, estes também sendo carregadores de energia química, e três tipos de atividades polimerásicas: duas de tipo 'puro', a nucleotídica (polimerase / replicase de tRNA) e a de aminoácidos (peptidil-transferase), e uma 'mista', a aminoacil-tRNA sintetase (Figura 6).

O projeto de montar tal sistema não é fácil, mas não se imagina como poderia ser mais simples. Dados atuais podem indicar que os tRNA teriam atuação ribozímica, talvez com os três tipos de funções polimerásicas mais a função atual dos mRNA, possivelmente como poli-tRNA, como que 'traduzindo a si mesmos'. Os tRNA atuais têm tamanhos de cerca de 75 bases, mas poderiam ter sido menores, no início. As proteínas aí produzidas teriam as três funções iniciais: de sustentação monomérica, com sua síntese e reciclagem, a propriedade fundamental de estabilidade própria, mais a de afinidade por RNA. Esta última é a associativa, através da qual se forma um sistema nucleoprotéico mutuamente estabilizado e realimentador de si mesmo; um ciclo auto-catalítico, mas já um hiperciclo. Um modelo biológico para tais sistemas seria o dos reticulócitos, os precursores imediatos das hemácias (eritrócitos) de mamíferos. Não há cromossomos (que seus precursores eritroblastos tinham), mas somente RNA e proteínas funcionantes em tradução e metabolismo (Figura 7).

A possibilidade sugerida (Figura 6) é de que o Código Genético surgiu como um mecanismo de auto-tradução, em que os aminoacil-tRNAs seriam alinhados em seqüência ao longo de um modelo (cumprindo a função dos mRNA atuais) formado por moléculas da mesma classe deles, como poli-tRNAs. Esse sistema 'auto-referente' surgiu gradualmente, iniciando com alguns poucos tRNA até preencher todo o alfabeto de 64 codons. A partir desse estágio (completo), o sistema se tornou capaz de aceitar qualquer tipo de RNA, com seqüências complexas, como modelos para o alinhamento de proteínas. Esses modelos são os atuais mRNA, desenvolvidos e incorporados posteriormente ao sistema. O sistema de tradução primitivo prescindia de modelos ou mRNAs pré-existentes, 'estranhos' a ele, vindo de fora, 'a serem traduzidos'. Portanto, não surgiu como um sistema voltado para um 'outro' (na terminologia da psicanálise), mas para si mesmo, como na antiga máxima: *conheça a si mesmo*. Após o auto-conhecimento, torna-se possível conhecer e aceitar o 'outro'. O sistema de enzimas (as aminoacil-tRNA sintetases) é, ainda mais, auto-catalítico porque, ao mesmo tempo, elas realizam e são produto da tradução. Começaram compostas por alguns aminoácidos, até alcançar o máximo atual de 20. Células com tal composição se tornaram eficientes a ponto de sobrepujar outras possíveis e gerar a biodiversidade conhecida. A função de 'descodificar' mRNAs é posterior, do mesmo modo como a denominação dos tRNAs como 'adaptadores' entre os 'mundos' dos genes e das proteínas.

O ciclo central é de reaproveitamento de tRNA na tradução de um poli-tRNA, este cumprindo a função de mRNA. As sínteses são catalisadas por enzimas (proteínas; também estáveis e ligadoras de RNA) ou ribozimas (similares aos tRNA): polimerase/replicase de tRNA (pol), peptidil-transferase (ppt; como a ribossômica) e aminoacil-tRNA sintetase (aRS). O último aminoácido do peptidil(aaaa)-tRNA corresponde ao codon à esquerda e o próximo corresponde ao códon à direita do que está sendo adicionado.

O ciclo externo (na realidade, vários), compreende as sínteses de aminoácidos (a) e nucleotídeos (N), e sua reciclagem após degradação dos polímeros. Esses serão reaproveitados, respectivamente, pelas aRS e pol. Energia (em última instância, ambiental) é incorporada por recomposição dos N com fosfatos.

Figura 6 - O hiperciclo mínimo da tradução.

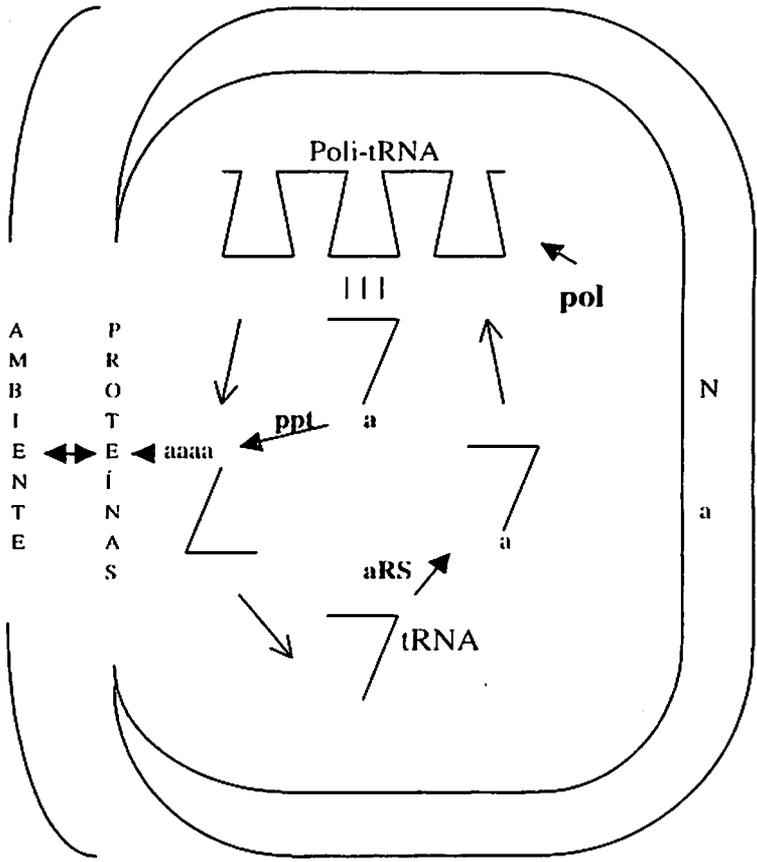
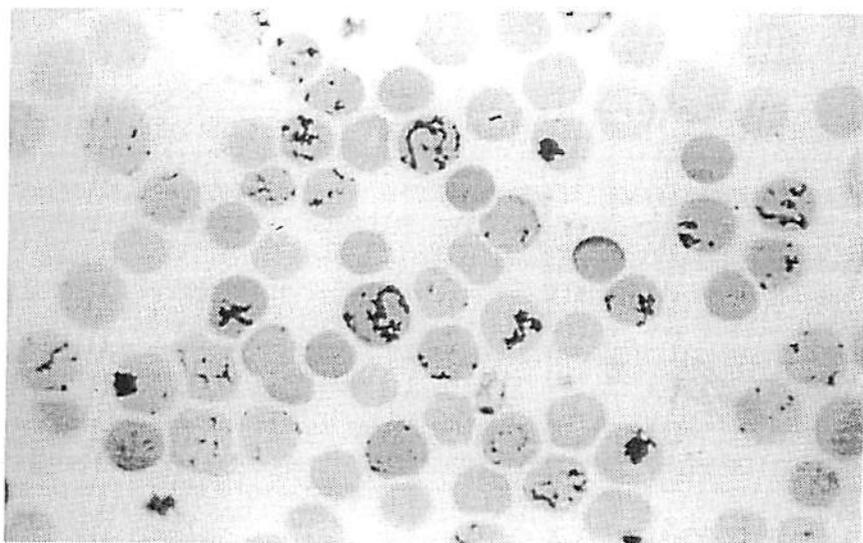


Figura 7 - Eritrócitos e reticulócitos de medula óssea humana. Eritrócitos com interior claro e homogêneo, reticulócitos com grumos internos ribonucleoprotéicos escuros.



9. ÁCIDOS NUCLEICOS E GENES

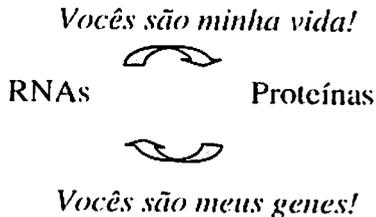
Ácidos nucléicos são moléculas que a bioquímica já aprendeu a sintetizar e replicar com facilidade, tornada até robotizada. São denominados genes quando fazem parte de sistemas capazes de traduzi-los em proteínas, estas por sua vez capazes de realimentar o sistema. Reserva-se o termo gene para a entidade que faz parte do processo biológico. Fora desse contexto, são meras moléculas, como quaisquer outras. Quando são sintetizadas em laboratório, podem ser chamadas de genes se sabemos que são iguais a outras biológicas ou têm características que garantem sua eficácia dentro de um sistema biológico. A definição de gene é funcional, relativa ao sistema em que a molécula se insere. Poderá haver genes que só funcionam *in vitro*, outros que são somente de uma espécie biológica, ou até os promíscuos, que são aceitos por diversos sistemas. A engenharia genética, parte mais recente da biotecnologia, esta sendo atividade humana muito antiga, desde a domesticação e melhoramento de plantas e animais, trabalha fortemente com tais genes promíscuos.

Já está sedimentada, atualmente, a noção de que os genes de DNA foram adicionados posteriormente aos de RNA, aproveitando-se de sua inércia metabólica, caráter importante para a função de depósito estável da informação em fitas. Essa mudança de perspectiva ilustra bem o ensinamento darwiniano: ao interpretar o processo que formou a natureza biológica, devemos testar a possibilidade de 'pensar ao contrário' do que as aparências ou a observação do 'estado atual' dos sistemas sugerem; em geral, descobriremos que um processo natural, não teleológico, é plausível e mais simples, indicando um processo construtivo 'de baixo para cima', da base para o ápice das pirâmides. Os manuais de biologia celular nos ensinam que o fluxo da informação, para construção de uma célula, é eferente do DNA para RNA e, então, para as proteínas e suas funções. Este percurso é o da abordagem 'de cima para baixo', do patrão para os empregados, de um idealizador do sistema para sua efetivação. Na abordagem 'de baixo para cima' e a hierarquia surge por transferência de atribuições, da base para alguns elementos que se tornarão referências para o sistema. A base é RNP, mas as funções múltiplas originais dos RNA foram reduzidas: a maior parte das funções genéticas transferidas para o DNA e a maior parte das metabólicas transferidas para as proteínas. O percurso foi, em parte, de complexificação, pela adição do DNA e, em parte, de simplificação por divisão de trabalho entre os componentes. Os engenheiros gostariam de chamar esse processo, combinado, de otimização do sistema *para* melhorar a eficiência, reduzindo os conflitos que eram causados pela atribuição de múltiplas funções a certos componentes.

O cenário para a origem dos genes (funcionais) seria de auto-organização de uma coletividade heterogênea de tipos moleculares em uma unidade funcional que se estabilizou. Dentre um grande e nebuloso (sem limites precisos) 'espaço de variação' de tipos moleculares (proteínas e RNA), alguns teriam propriedades de participar de síntese de proteínas e de RNA, alguns destes sendo traduzidos. Dentre outro grande e nebuloso 'espaço de variação' de proteínas, algumas seriam mais estáveis que outras, ou mais capazes de se ligar a RNA que outras. Os componentes que produziram o sistema estabilizado foram um subconjunto do original, aquele que combinou as propriedades adequadas: as proteínas mais estáveis e, ao mesmo tempo, boas ligadoras de RNA; os RNA estabilizados pela ligação das proteínas a eles, como 'capas' protetoras e, ao mesmo tempo, sendo os mesmos RNA que se envolveram com a tradução

daquelas proteínas. Somente essa combinação se tornou a produtora de um sistema RNP capaz de persistir prolongadamente. O processo de adequação mútua dos reagentes pode ser chamado de 'cognitivo'. Assim, uma cognição molecular estaria na base das origens da biologia. Seria como se nos encontros, surpresos, os RNAs dissessem para as proteínas que foram sintetizadas com sua participação: 'você são minha vida!' e, ao mesmo tempo, essas mesmas proteínas dissessem a 'seus' RNAs: 'você são meus genes!' (Figura 8).

Figura 8 - O reconhecimento mútuo de proteínas e RNAs, estes se tornando genes.



10. MÓDULOS

Tal sistema estabilizado seria o primeiro módulo que pode incrementar essas e desenvolver outras funções, gerando a biodiversidade. O principal mecanismo envolvido no processo evolutivo deve ser o de duplicações seguidas de divergências (variações mutacionais e outras), a serem testadas quanto à adequação ao sistema. O módulo básico garante tradução e estabilidade, deve ser robusto para aceitar novos modos de expressão de genes e novos genes. Serão geradas, inicialmente, redundâncias. Essas podem ser adequadas ao sistema e mantidas, como se tornou característico dos eucariotos ou, majoritariamente descartadas, como nas bactérias, que persistiram na rota de se manterem simples. Os limites conhecidos são de algumas centenas de genes, em micoplasmas, até muitas dezenas de milhares, em animais e plantas.

Os módulos genéticos foram referidos, anteriormente, como verbetes ou segmentos a partir dos quais se constroem palavras ou textos, as proteínas. Nas atuais, os módulos têm tamanhos da ordem de algumas dezenas de aminoácidos, que podem corresponder, aproximadamente, a alguns segmentos funcionais (éxons) pequenos dos genes. Portanto, não há necessidade de construção evolutiva de textos úteis e funcionais muito longos, mas somente de alguns pequenos, a serem depois recombinados na formação das moléculas longas. Assim se responde à crítica antiga: como se pode esperar que, por acaso, um macaco datilógrafo venha a produzir um texto de um poeta? Diz-se que a questão foi mal colocada. Não é preciso produzir textos, mas só segmentos e algumas palavras iniciais que se mostrem naturalmente úteis. A natureza será capaz de produzir recombinações e 'variações sobre os temas', como gostam de fazer os músicos, construindo grandes obras a partir de alguns 'motivos condutores' ou algumas 'linhas melódicas'.

11. MUNDOS PRÉ-RNP

Podemos quebrar uma célula, separar suas partes e, depois, reuni-las em tubos de ensaios. Enquanto tal sistema recomposto *in vitro* estiver funcionando, considero ser possível chamá-lo de vivo, ainda que contenha somente parte das funções e duração limitada. Esse raciocínio é semelhante ao de se considerar vivos uma hemácia, uma plaqueta ou um espermatozóide, ainda dentro do corpo ou retirados dele, até que parem de funcionar. Uma hemácia é um 'simples' pacote de hemoglobinas (transportadoras de oxigênio e gás carbônico) mais enzimas da membrana (que realizam trocas com o ambiente, este podendo ser somente soluções de sais e glicose, como o soro usado para hidratação nutritiva de crianças) e outras que realizam a cadeia metabólica chamada de fermentação. Nesta, a glicose é parcialmente digerida, com geração de energia bioquímica, na forma de ATP, e de compostos redutores (como NADH e glutatião), que mantêm a integridade da membrana. Não ocorre a respiração, com digestão completa da glicose e consumo de oxigênio, porque não há mitocôndrias. Esse seria um modelo razoável para uma protocélula somente metabólica, análoga dos coacervados e das microsferas de proteínas térmicas (proteínas polimerizadas somente por aquecimento, com ligações entre aminoácidos não somente do tipo peptídico), ainda sem genética (Figura 7).

Estamos agora em situações-limites, onde as demarcações entre o vivo e o não-vivo se tornam difíceis e consensos serão sempre questionáveis. Parece que os critérios, nesse âmbito, se tornarão predominantemente quantitativos. Quanto será exigido de um sistema metabólico, encontrado na Terra ou em outros ambientes, ou sintetizado em laboratório, para ser considerado vivo? A solução será de lhes atribuir parcelas, graus ou níveis de propriedades vitais. O único critério decisório prático disponível permanecerá 'por comparação' com as células atuais, que são muito complexas.

Considero razoável a proposta de analogias com as formas terminais da diferenciação dos eritrócitos de mamíferos. Se tomadas em sentido inverso, estaremos mimetizando as origens da vida. Uma célula similar à hemácia seria viva mas com potencial evolutivo escasso e de sentido degenerativo, por falta de processos de reposição das partes e das integrações que lhes permitiriam viver duravelmente. Sua evolução para maior grau de propriedades vitais dependeria do desenvolvimento daqueles processos. Ao se conseguí-los, serão acrescentados outros, até se alcançar estágio em que possa haver consenso de que o sistema seja aceitável como 'integralmente ou completamente' vivo.

Tal categorização exclui, além dos vírus, sistemas metabólicos plenamente abertos e não individualizados como, p. ex., os desenvolvidos em soluções dentro tubos de ensaio ou sobre cristais de argila ou de pirita. Portanto, não deve ser adequado falar em vida difusa ou dispersa no universo. Estes 'sistemas difusos' são interessantes como modelos de sínteses de material relevante para o processo de origem da vida. O trabalho com argilas nos inicia na bioquímica com reagentes 'sujos', complexos e mal definidos, e propõe um percurso interessante, de origem de uma parcela da ordem biológica a partir da ordem mineral. Tal vertente parece oposta à de auto-organização de Debrun ou Kauffman, de origem da ordem a partir de uma desordem original, mas as duas propostas devem ser consideradas complementares.

12. CONGRUÊNCIA, CONTINUIDADE

O programa de pesquisa da geração espontânea da vida se baseia na ocorrência pré-biótica de uma química orgânica de vasta amplitude, com um grande 'espaço' de variabilidade. Dentro desse, encontram-se compostos demonstrando similaridade e compatibilidade com os necessários para a bioquímica, configurando congruência, agora em espaço mais restrito. Introduce-se um processo que pode ser chamado de co-evolução molecular, em que peptídeos e RNA pré-bióticos se tornaram adequados um ao outro, com conformações que facilitaram sua agregação, gerando afinidades e, finalmente, a realimentação mútua no ciclo RNP. A partir desse ponto, em um espaço ainda mais restrito, pode-se falar em continuidade na árvore da vida.

A continuidade tem dois marcos bem definidos, restrições demonstrando que a vida na Terra deriva de uma única população celular ancestral, que suplantou outras possíveis. Um foi a sedimentação do Código Genético, essencialmente universal, ainda que demonstrando evolução, gerando alguns variantes, sendo preferível a denominação de padrão ou canônico.

Outro é a obediência estrita da conformação dos átomos de carbono, nos açúcares dos ácidos nucleicos e nos aminoácidos das proteínas, à regra de *quiralidade*. Pode-se ver, com mais facilidade, na estrutura de proteínas (Figura 1), que aos carbonos centrais da cadeia peptídica se ligam 4 compostos diferentes: NH, H, R e CO. Com tal estrutura 'tetraédrica' dos carbonos, só é possível se obterem conformações regulares e repetitivas das proteínas (Figura 3d), no espaço tridimensional, se todos aminoácidos do polímero apresentarem seus tetraedros com a mesma direção, todos voltados para um mesmo lado. O mesmo vale para os pareamentos em dupla hélice dos ácidos nucleicos, e para as associações 'cognitivas' entre os dois tipos de polímeros.

O termo quiral se refere às nossas mãos, direita e esquerda, que não são superponíveis uma à outra, empilhando palma sobre dorso; só o são no arranjo especular, justapondo-se as palmas. Dentre os aminoácidos de proteínas, somente a glicina não é quiral, porque seu R é um átomo de H. O método mais fácil de determinação da quiralidade é o do desvio da luz coerentemente polarizada, com os feixes em rotação em um único sentido. Com este método, Pasteur

descobriu que todos açúcares dos biopolímeros são destrógiros (um dos nomes do açúcar alimentar, sacarose, muito usado até há algum tempo, era destrose), desviando a luz polarizada para a direita, e todos aminoácidos das proteínas são levógiros (canhotos), desviando-a para a esquerda.

A quiralidade coerente é condição necessária para construção dos biopolímeros e para as interações de enzimas com seus substratos. Em outras situações, de micromoléculas não integradas nos biopolímeros, podem ocorrer quiralidades diferentes. Em situação não biológica, como em sínteses laboratoriais e após a morte dos organismos, os compostos orgânicos apresentam conformações mistas, como misturas em equilíbrio termodinâmico, ou racêmicas (as raízes de onde se obtêm as formas puras).

Assim se define outra grande restrição à bioquímica vigente na Terra. Seria igualmente possível, teoricamente, uma 'anti-vida', com as quiralidades opostas às conhecidas, do mesmo modo como se pode imaginar um universo paralelo baseado em regularidades de anti-matéria, mas não deveria ser possível uma ordem macromolecular com monômeros de quiralidades mistas; os polímeros ficariam todos irregularmente distorcidos.

Pode-se propor que a 'escolha' feita na natureza biológica pelo tipo de quiralidade vigente tenha sido 'ao acaso', mas os físicos têm acumulado, ainda que não conclusivamente, evidências no sentido de que haveria diferenças sensíveis de estabilidade dos isômeros (moléculas iguais, a não ser pela conformação) quirais, em sentido coerente com o encontrado na biologia. É projeto semelhante ao proposto para explicar a 'escolha' por matéria em vez de anti-matéria. A proposta em estudo é de que pequenas diferenças de quiralidade pré-biótica foram amplificadas pela co-evolução molecular e, depois, dentro dos contextos RNP e biológico posterior.

A perplexidade decorrente da observação da biodiversidade pode ser, então, reduzida com alguns desses avanços, destacando-se a '*regra 1-2-3 da simplicidade*' nos fundamentos bioquímicos. Parte-se (1) da monoquiralidade estrita dos biopolímeros para a (2) regra de complementaridade cristalina dos ácidos nucleicos, com 4 letras em 2 pares; 1 só par seria muito pouco, 3 por demais complicado. Seguem (3) os codons de 3 bases, gerando 4^3 (64) tripletos; 3 seria o mínimo a

promover estabilidade nos pareamentos dos tRNA, 4 complicação desnecessária. O número máximo de atribuições (aminoácidos e pontuação), no entanto, não precisou ser tão grande, tendo bastado as 22 fixadas, número bem próximo dos 16 (4^2) 'dinucleotídeos principais' dos tripletos (desconsiderando a posição oscilante dos codons). Sugere-se que deve ser possível construir-se sistemas com características próximas das biológicas vigentes, contendo somente tais 16 atribuições, ou até menos.

13. RESTRIÇÕES, DIREÇÕES

O projeto determinista continua avançando, mas não no sentido estrito. Pode-se dizer que, em todos processos naturais, há sempre algum grau de determinismo 'temperado' com algum grau de aleatoriedade. Por exemplo, na evolução molecular pré-biótica relevante para a biológica, a própria condição de ser aquosa deve ter sido fator direcionador importante, determinante parcial "das seqüências de polímeros. Assim, em sínteses espontâneas, os polímeros não serão plenamente aleatórios. O modelo matemático para tais processos é o das séries de Markov, muito utilizado na modelagem de sucessões ecológicas, em que um evento precedente dirige, em certo grau, o posterior. Os exemplos mais notórios são das espécies que se sucedem na recomposição da vegetação em áreas desmatadas e nos animais que comparecem para beber água em poços. Tais regras são retratadas em várias estórias populares, como na canção da 'Velha a Fiar': *"Estava o mato em seu lugar..., Veio o fogo lhe fazer mal..., O fogo no mato e a velha a fiar. Estava o fogo em seu lugar..., Veio a água lhe fazer mal..., A água no fogo, o fogo no mato e a velha a fiar. Estava o boi, a mosca, a aranha, o rato, o gato, o cachorro..."* etc. [A fiandeira sisuda é a mesma imagem mitológica das Moiras pré-helênicas ou Parcas latinas, que 'tecem o destino'.]

Se o último monômero adicionado a um polímero foi, p. ex., hidrofílico, a probabilidade de que o próximo também o seja é, mensuravelmente, diferente de que não o seja, e assim por diante. Os polímeros estarão constituídos por agrupamentos de vizinhos com características diversas das que seriam esperadas por meros processos estocásticos. Parece, então, que uma tendência para geração de ordens, ainda que localizadas, seria propriedade geral, algumas podendo apresentar potencial evolutivo interessante, quando colocadas dentro

de sistemas interativos. Assim, pode-se dizer que a aleatoriedade plena seria somente modelagem matemática, de elevado interesse metodológico, mas não uma descrição adequada dos processos de polimerização natural ou das mutações. A aleatoriedade destacada por Jacques Monod em seu clássico *Acaso e Necessidade*, se refere à independência entre os eventos mutacionais e suas conseqüências fisiológicas, como encontros fortuitos de séries causais cujas origens são muito distintas umas das outras. A desordem observada no exame de amostras de polímeros naturais é, também, somente aparente, decorrente de serem misturas de populações ou coletividades heterogêneas.

14. CODA

A definição tradicional de vida – uma lista de propriedades dos seres vivos – não satisfaz o preceito de concisão. Um conceito dinâmico – o processo evolutivo desempenhado por sistemas metabólicos individualizados – parece adequado, inclusive, para identificar possíveis outros sistemas vivos. Vida, como uma entidade, existe somente no âmbito da linguagem. No caso terreno, o percurso dos seres vivos produziu acréscimo de complexidade. Indivíduos metabólicos crescem por acúmulo de módulos parcialmente redundantes e formaram a diversidade de populações reprodutivas. Um modelo para o projeto de construção de sistemas vivos pode seguir o percurso reverso da eritropoiese de mamíferos: começa-se por sistemas metabólicos protéicos (como as hemácias) e, passando pelos sistemas ribonucleoprotéicos (como os reticulócitos), alcança-se uma célula integral, com genes de DNA.

Agradecimentos: CNPq, FAPEMIG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EL-HANI, C. N., VIDEIRA, A. A. P. *O que é vida?* Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2000.

GUIMARÃES, R. C. Systemic approaches in genetics. *Ciência e Cultura*, 44: 211-212, 1992.

- _____. *Procuram-se ilusões*. São Paulo: Paulicéia, 1994.
- _____. Linguistics of biomolecules and the protein-first hypothesis for the origins of cells. *J. Biol. Phys.* 20: 193-199,1994.
- _____. A base celular dos ciclos de memória. In: SOARES, A.B. (Org.). *Encontro com as ciências cognitivas, 1*. Rio de Janeiro: UENF, 1998. p. 17-24.
- _____. O conceito de informação em biologia. In: GONZALEZ, M. E. Q., BROENS, M. C. (Org.). *Encontro com as ciências cognitivas, 2*. Marília: UNESP, 1998. p.69-93.
- _____. Genetic code: hydrophobic, dinucleotide type, and aminoacyl-tRNA class organization. In: *Exobiology - matter, energy and information in the origin and evolution of life in the universe*, CHELA-FLORES, J., RAULIN, F. (Ed.). Dordrecht -Holanda: Kluwer, 1998, p.157-160.
- _____. Two punctuation systems in the genetic code. In: *First steps in the origin of life in the universe*, CHELA-FLORES, J., OWEN, T., RAULIN, F.(Ed.) Dordrecht-Holanda: Kluwer, 2001, p. 91-94.
- _____. An evolutionary definition of life: from metabolism to the genetic code. In: PÁLYI, G., ZUCCHI, C., CAGLIOTI, L. (Ed.). *Fundamentals of life*. Paris: Elsevier, 2002 (no prelo).
- _____. O certo e o duvidoso: como é possível a biologia. In: BROENS, M. C., GONZALEZ, M. E. Q., DELMASSO, M. C. S. (Ed.) *Encontro com as ciências cognitivas 3*, Marília: UNESP, 2002, (no prelo).
- _____. MOREIRA, C. H. C. O conceito sistêmico de gene-uma década depois. In: D'OTTAVIANO, I. M. L., GONZALEZ, M. E. Q. (Org.). *Auto-organização - estudos interdisciplinares 2*. Campinas: UNICAMP, 2000, p.249-280. (Coleção CLE 30).
- _____. MOREIRA, C. H. C. Genetic code structure and evolution: aminoacyl-tRNA synthetases and principal dinucleotides. In: PÁLYI, G., ZUCCHI, C., CAGLIOTI, L. (Ed.). *Fundamentals of life*. Paris: Elsevier, 2002 (no prelo).
- MATURANA, H. *A ontologia da realidade*. In: MAGRO, C., GRACIANO, M., VAZ, N. (Org.). Belo Horizonte: UFMG, 1997.

MOREIRA, C. H. C., GUIMARÃES, R. C., TEIXEIRA, A. R. Modelagem hipercíclica da geração do código genético. In: D'OTTAVIANO, I. M. L., GONZALEZ, M. E. Q. (Org.), *Auto-organização- estudos intersdisciplinares 2*. Campinas: UNICAMP, 2000, p. 191-211. (Coleção CLE 30).

MURPHY, M. P., O'NEILL, L. A. J., (Org.) *O que é vida? 50 anos depois*. São Paulo: UNESP, 1997.

PARDINI, M. I. M. C., GUIMARÃES, R. C. A systemic concept of the gene. *Genet. Mol. Biol.* 15: 713-21, 1992.

PEREIRA, Jr. A., GUIMARÃES, R. C., CHAVES, Jr. J. C. Auto-organização na biologia - nível ontogenético. In: DEBRUN, M., GONZALEZ, M. E. Q., PESSOA JR, O. (Org.) *Auto-organização - estudos interdisciplinares*. Campinas: UNICAMP, 1996. p. 239-269. (Coleção CLE 18).

RIZZOTTI, M. (ed.) *Defining life*. Padova: Univ. Padova, 1996.

_____. Natural intelligence and cellular complexity. In: *First steps in the origin of life in the universe*. Ed. CHELA-FLORES, J., OWEN, T., RAULIN, F. Dordrecht-Holanda: Kluwer, 2001, p. 345-348.

Mente

Alfredo Pereira Júnior
UNESP/Botucatu

Isabela Ap. de Oliveira Lussi
USC/Bauru

Maria Alice O. Pereira
USP/Ribeirão Preto

1. INTRODUÇÃO

Diversos enfoques da mente humana têm sido propostos ao longo da história da filosofia e das ciências humanas. Muitas vezes esses enfoques são apresentados como reciprocamente excludentes, levando os pesquisadores a se engajarem em conflitos teóricos aparentemente insolúveis. Tal situação expressa o predomínio de abordagens *reducionistas*, em que se tenta explicar a variedade de fenômenos próprios da mente humana em termos de um aspecto privilegiado (por

exemplo, a capacidade de conhecer) ou de uma teoria restritiva (por exemplo, a teoria de que o universo mental do indivíduo seria determinado exclusivamente por sua posição nas relações sociais de produção).

Uma alternativa viável ao reducionismo se tornou possível com o advento da teoria de sistemas. A estratégia consiste em se conceber a mente (em nossa abordagem, esta seria a mente de um indivíduo da espécie humana) como um *sistema não hierárquico*, constituído por vários componentes que interagem entre si formando uma rede de relações no espaço-tempo da vida individual. *Configurações mentais* são geradas pelos componentes em interação, o que caracteriza um *processo de auto-organização* (como estudado p. ex. em Debrun, Gonzalez e Pessoa, 1996). A dinâmica temporal destas configurações traça uma *história de vida*, que pode ser analisada em função de determinados parâmetros de interesse do pesquisador.

2. A MENTE COGNITIVA

A abordagem tradicional da mente, na história da filosofia ocidental, se fez em termos de sua capacidade ou faculdade de *conhecimento*. Em Aristóteles, assim como em Kant, essa faculdade foi analisada em termos de *categorias* cognitivas, que seriam as formas nas quais o conteúdo empírico do conhecimento é organizado. Enquanto Aristóteles se baseou no estudo da *linguagem*, entendendo as categorias como formas da predicação, Kant lançou mão da chamada "dedução transcendental", um método filosófico para se identificar *condições de possibilidade* de todo conhecimento de caráter científico (entendendo-se por "ciência" uma forma de conhecimento nos moldes da física newtoniana).

Destas categorias, ressaltamos as seguintes:

- a) espaço: ao se processar o conhecimento, a mente constrói um espaço, que se refere tanto à *localização dos objetos* conhecidos, quanto às *relações entre suas posições*, o que define uma estrutura (ou sistema de relações) que pode ser abstraída e representada mesmo na ausência de objetos (o exemplo clássico sendo a estrutura do espaço tridimensional euclidiana);

- b) tempo: os objetos conhecidos aparecem para a mente como *eventos que se sucedem* uns aos outros, definindo (assim como ocorre para com o espaço) uma estrutura, que pode ser representada mesmo na ausência de objetos (por exemplo, o tempo unidimensional e assimétrico utilizado na física clássica);
- c) quantidade: categoria mental que se origina da identificação de *unidades que se acumulam*, e que são representadas de forma abstrata através dos *números*, permitindo assim a operação de medição e comparação de diferentes objetos;
- d) qualidade: categoria mental que se baseia na existência de *diferenças* entre tipos de objetos, possibilitando que se faça distinção e/ou comparação entre tais tipos de objetos, com base em suas propriedades intrínsecas;
- e) substância: categoria que expressa determinados *substratos* de propriedades (i.é. seres) que mantêm suas características ao longo de um período temporal; tais coleções de características constituem a *essência* destes seres;
- f) causalidade: categoria que diz respeito à existência de *conexões* (racionais e/ou empíricas) entre os eventos que se apresentam à mente; tais conexões seriam, segundo Aristóteles, de quatro tipos: *material* (relativa àquilo de que é feito um objeto), *formal* (relativa à sua forma), *eficiente* (relativa àquilo que o produziu) e *final* (relativa à sua destinação).

Tendo definido, ainda que de forma precária, as seis categorias acima, podemos enunciar o conceito filosófico tradicional da mente da seguinte maneira. Uma mente seria uma entidade (não necessariamente referida a um indivíduo humano) capaz de operar com tais categorias cognitivas, ou seja, *capaz de recortar um espaço-tempo no qual são representadas substâncias, determinadas qualitativa e quantitativamente, que se conectam por meio de certos tipos de relações causais*.

A existência de tais categorias foi corroborada em diversos estudos de psicologia cognitiva, destacando-se o trabalho pioneiro de Piaget sobre o desenvolvimento cognitivo de crianças, quando veio a detectar os momentos em que se formam tais conceitos ou em que os mesmos se tornam operantes (vide o paralelo feito por Hundert, 1989). Contudo, no tipo tradicional de abordagem se privilegia o aspecto

cognitivo da mente, ressaltando sua capacidade de representar um mundo exterior, mas deixando de lado suas *vivências subjetivas*, e também o enfoque do *comportamento* (no plano biológico e sócio-político) dos seres que possuem uma mente. No caso específico de Piaget, a dimensão do comportamento não foi negligenciada – pelo contrário, ele concebeu que as ações da criança no seu ambiente participariam da gênese das operações mentais. Porém, na maioria das vezes, o viés cognitivista, na tradição filosófica que vai de Platão a Descartes e seus seguidores, tem favorecido uma concepção *idealista* da mente, na qual ela é concebida como uma entidade separada do corpo biológico, possuindo uma existência independente do contexto histórico-social no qual seu portador se insere.

3. A MENTE VIVENCIAL

Começando com a *Ética* aristotélica, passando pelos epicuristas e estoicos do período greco-romano, por pensadores ímpares como Schopenhauer e Nietzsche, e florescendo na fenomenologia e existencialismo do Séc. XX, uma outra concepção da mente veio a se estabelecer na filosofia. Nesta concepção, o conhecimento da subjetividade humana não se resume à análise das faculdades cognitivas, mas a dimensão *existencial*, incluindo suas ramificações éticas e estéticas, assume o primeiro plano.

A análise da mente, neste novo quadro, requer novas categorias, como aquelas propostas por Heidegger, as categorias do *cuidado*, do *trabalho* (já antecipada por Marx), da *alteridade* e da *angústia*. Sartre trabalhou a categoria da *transcendência*, entendida como dimensão fundamental do ser humano (“ser para si”) na qual se exerce sua liberdade, ou o ato de deixar de ser aquilo que já se é (uma “essência” realizada) e projetar-se para novas formas de existência. Merleau-Ponty, por sua vez, ressaltou a unidade da mente e do corpo biológico, vindo por intermédio da resultante noção de *corpo próprio* reinterpretar as categorias clássicas da espacialidade e temporalidade, e conceber o processo perceptivo como resultante da atividade da mente/corpo no ambiente. No domínio da psiquiatria, Minkowski (1933) propôs um método fenomenológico de análise, que visava reconstruir a experiência subjetiva dos pacientes em termos das categorias clássicas, em especial da categoria *tempo*, cuja vivência apresenta diversas alterações no curso da psicopatologia (os

depressivos teriam a vivência de um tempo “mais lento”, e esquizofrênicos perderiam a noção de continuidade temporal).

A consideração da unidade mente/corpo coloca na ordem do dia a *intencionalidade* inerente à existência de todos os seres vivos (e não só a *intencionalidade da consciência*, proposta na fenomenologia de Husserl). Os seres vivos demonstram através do comportamento que sua atividade mental seria sempre direcionada para se atingir determinados *objetivos* ou *metas*, como a sobrevivência individual e a reprodução da espécie, sejam esses objetivos estabelecidos de modo explícito (consciente) ou implícito (por um “programa” genético, ou pela própria mente, porém inconscientemente). Os indivíduos de nossa espécie, devido à peculiaridade de seu sistema lingüístico de pensamento e comunicação (um sistema de *referência simbólica*, de acordo com Deacon, 1997), são capazes de codificar e manipular conscientemente suas metas, embora também ocorra, como foi revelado pela psicanálise, uma intencionalidade inconsciente.

Devido à capacidade de significação própria do indivíduo humano, seus objetivos ou metas não poderiam ser considerados fixos, como se considera para outras espécies biológicas, mas poderiam ser dinamicamente reavaliados, de acordo com as contingências de sua história de vida. Portanto, para a análise da mente vivencial torna-se necessário encontrar parâmetros que se apliquem a toda a diversidade de experiências humanas, permitindo avaliar dinamicamente o desenrolar da intencionalidade de um indivíduo ao longo de sua história de vida. Um destes parâmetros poderia ser o que chamaremos de *função de satisfação*, a qual abordaremos a partir da psicanálise freudiana.

4. A FUNÇÃO DE SATISFAÇÃO

A busca de satisfação é inata ao indivíduo, e aparece inicialmente em sua vida como forma de suprir as necessidades somáticas (basicamente, evitar a dor e procurar o prazer). No desenrolar da ontogenia, contudo, a realização da satisfação vai além do nível puramente somático, vindo a incorporar construções simbólicas conscientes e inconscientes.

Freud (1996) fez uma descrição das primeiras experiências de satisfação do bebê, as quais constituiriam a base para suas vivências de satisfação futuras. As necessidades internas do bebê geram uma excitação motora, que só termina quando chega a uma vivência de satisfação. Por exemplo, quando tem fome o bebê chora e movimentava pernas e braços, como forma de expressar sua necessidade. Esta excitação motora só tem fim quando ele for saciado com o alimento, ou seja, quando chegar a uma vivência de satisfação ocasionada pela alimentação.

Na vivência de satisfação existe um componente essencial, que é uma percepção específica em relação à satisfação da necessidade. Esta percepção específica possui uma imagem mnemônica que fica associada à imagem mnemônica da excitação produzida pela necessidade. Assim, toda vez que aparecer a necessidade surgirá imediatamente a imagem mnemônica da percepção específica, que procurará restabelecer a vivência da satisfação original (Freud, 1996). Este seria o processo mais primitivo para a realização do desejo, descrito por Freud como o princípio de prazer-desprazer, ou somente "princípio de prazer".

Para Freud (1996), o princípio de prazer está ligado à experiência de satisfação alucinatória. O bebê "provavelmente alucina a realização de suas necessidades internas; revela seu desprazer, quando há um aumento de estímulo e uma ausência de satisfação, pela descarga motora de gritar e debater-se com os braços e pernas, e então experimenta a satisfação que alucinou". Desta forma, as experiências primárias de desprazer-prazer são regidas somente pelas necessidades internas. Todas estas sensações são exclusivamente presentes nos primeiros dias de vida do bebê. A tensão desagradável gerada por uma necessidade interna diminui aos poucos quando a necessidade é suprida dando lugar a um estado agradável.

No entanto, a adaptação do bebê ao mundo acaba transformando este processo primitivo. O ambiente externo dá ao bebê condições de realidade que interferem neste mecanismo; ele deixa de funcionar apenas por estímulos internos e passa a atuar no plano das circunstâncias reais externas. A esta nova forma de funcionamento mental dá-se o nome de *princípio de realidade*. De acordo com Brabant (1981), "faz-se necessário, por exemplo, considerar os obstáculos a contornar, as dificuldades a vencer; deve estar apto a

esperar, adiar, contornar – eventualmente renunciar – isto é, suportar tensões desagradáveis, antes de obter a satisfação que uma ação precipitada o faria perder”.

Esta realidade externa torna mais importante o sistema percepção-consciência. Os órgãos sensoriais recebem os estímulos do mundo externo, e a consciência aprende a incluir as qualidades destes estímulos à de prazer e desprazer (Freud, 1996). Desta forma o princípio de realidade surge como regulador do princípio de prazer, e seu estabelecimento está ligado à uma série de funções imprescindíveis à manutenção da vida mental. Como coloca Laplanche (1988) a respeito do princípio de realidade, “conhece-se sua ligação com toda uma série de funções nas quais se encarna: atenção, julgamento, memória, pensamento como atividade de controle, seja uma atividade onde se substitui a descarga imediata à manipulação de pequenas quantidades de energia. O pensamento é considerado como ‘ação para ver’. Sabe-se, também, que o princípio de realidade se encarna na busca da ‘identidade de pensamento’ substituindo-se à busca primária da ‘identidade de percepção’ que caracteriza o prazer”.

Com a instituição dessas funções, a descarga motora, que antes estava ligada somente às sensações internas de prazer-desprazer, é atribuída de uma nova função. Como coloca Freud (1996), “a descarga motora foi agora empregada na alteração apropriada da realidade; foi transformada em ação”. O princípio de realidade substitui o princípio de prazer, tendo como meta não a destituição deste último, mas sim sua proteção, para que um prazer mais seguro - e não apenas momentâneo - seja alcançado através do novo caminho.

5. A MENTE EM AÇÃO

Depreende-se, a partir da análise freudiana acima resumida, que a partir de um certo estágio do desenvolvimento mental a realização da satisfação passa pela realização de metas no mundo exterior, ou seja, por uma série de *experiências*. Deste modo, a vida mental de um indivíduo se torna engajada em uma série de ações, que se desenrolam em seu ambiente físico, biológico e social. Tais ações provêm os conteúdos de experiência, que irão povoar a vida mental do indivíduo.

Esta circunstância faz com que os estudos dos diversos tipos de comportamento humano, no domínio de diversas ciências humanas (economia, antropologia, sociologia, direito, política), possam ser considerados como relevantes para a análise da dinâmica de uma mente individual. Isto vem se revelar como sendo de alto valor metodológico, uma vez que os pesquisadores naturalmente não podem observar diretamente o que se passa na mente de um outro indivíduo. Por outro lado, os relatos que os indivíduos fazem de seus próprios processos mentais para uma terceira pessoa (pesquisador) podem conter mecanismos defensivos, requerendo assim técnicas elaboradas para serem interpretados.

A vida de um indivíduo é constituída por vários aspectos relacionados ao desenvolvimento biológico, desenvolvimento da personalidade e desempenho social. Estes aspectos se organizam em *categorias comportamentais* presentes na vida da totalidade ou ao menos na maioria dos indivíduos em uma determinada época histórica. Como tais categorias correspondem aos conteúdos de experiência acima citados, podemos através de seu estudo entender não só os processos histórico-sociais "objetivos", como também as vivências "subjetivas" dos indivíduos, superando dessa forma a falsa dicotomia entre "objetivo" e subjetivo". São, portanto, as categorias, tanto comportamentais quanto vivenciais, e também cognitivas, no sentido em que *estabelecem condições* para as vivências e para o desenvolvimento cognitivo do indivíduo.

Vários critérios podem ser adotados para identificar as categorias comportamentais / vivenciais / cognitivas; um deles, que aqui adotamos, é o de se partir da suposição de que todo indivíduo biológico tenha *necessidade de satisfação*, e que cada categoria deva ser uma possível fonte de obtenção dessa satisfação. Identificamos com base neste critério *seis* grandes categorias e respectivas subcategorias, algumas mais disseminadas no plano sócio-histórico, e outras relativas ao contexto contemporâneo da sociedade ocidental "globalizada":

a) **Família:** diversas características de vida dos indivíduos estão relacionadas com os laços de parentesco:

a.1) *Subsistência:* já na vida intra-uterina o feto desenvolve uma relação de subsistência com a mãe, que fornece seu alimento.

Esta relação é estendida após o nascimento, enquanto a família se responsabiliza pelo fornecimento dos recursos necessários para a subsistência da criança;

a.2) *Referência para o Eu*: após o nascimento, nos primeiros meses de vida, o bebê não consegue ainda se distinguir da mãe. Para ele, mãe, bebê e ambiente não estão separados. Segundo Winnicott (1971), "gradativamente, a separação entre o não-eu e o eu se efetua, e o ritmo dela varia de acordo com o bebê e com o meio ambiente. As modificações principais realizam-se quanto à separação da mãe como aspecto ambiental objetivamente percebido". Para o mesmo autor, quando o bebê olha o rosto da mãe vê a si mesmo. Assim, o rosto da mãe lhe serve como espelho o que contribui para a construção do seu próprio eu. No momento em que o bebê começa a perceber que ele está separado da mãe o pai exerce papel fundamental como modelo de uma terceira pessoa nessa relação. Espelha-se na mãe e no pai para a construção de seu eu... Winnicott (1971) coloca que este papel desenvolvido pela mãe e pelo pai quando devolvem para o bebê o próprio eu deste é continuado por toda a família até que a criança não precise mais obter esta referência, ou seja, até quando ela se encontra mais amadurecida, não necessitando mais utilizar os rostos da mãe, pai e familiares como espelho para construir seu próprio eu;

a.3) *Construção da Afetividade*: enquanto o feto está se desenvolvendo existe uma transmissão de emoções e sentimentos da mãe para com este, que é o início da formação do vínculo afetivo. Este continua a se desenvolver após o nascimento através de trocas, como por exemplo, o bebê chora quando necessita dos cuidados da mãe, ela o embala para ele dormir etc.. A criança usa estas relações afetivas que estabelece com a mãe como modelo para criar vínculos afetivos com o pai e com outras pessoas da sua convivência. Estes laços de afeição vão se concretizando cada vez mais ao longo da vida do indivíduo podendo levá-lo, por exemplo, a se constituir como um indivíduo altruísta. A partir de um determinado momento na vida do indivíduo a afetividade se expande para a categoria da sociabilidade (abaixo), não se restringindo mais à esfera familiar;

b) **Corpo:** o corpo é constituído por uma rede de sistemas orgânicos que se comunicam entre si e engendram reações que são vividas pelo indivíduo como *emoções*; por exemplo, em situação de constrangimento, há uma reação de ruborização da face, acompanhada de sentimento de vergonha; em situação de perigo, taquicardia e medo, etc. O corpo é também carregado de significado; por exemplo, na nossa sociedade um corpo magro e bem delineado é caracterizado como sendo belo. Esta carga de significação influencia na esfera emocional, entendendo-se que a emoção incorpore o significado atribuído à reação fisiológica. Considerando estes aspectos, o corpo é uma categoria na qual podemos situar várias atividades da vida do indivíduo:

b.1) *Cuidados Básicos:* a preocupação com a sobrevivência e manutenção da condição de saúde está presente na maior parte da vida da grande maioria das pessoas. Alimentação, higiene e sono são atividades da vida diária, que estão relacionadas com a satisfação de necessidades biológicas e obtenção-de prazeres básicos. Os estilos de vida associados a estas atividades são também determinantes de uma boa saúde. Com base nelas se criam hábitos, que contribuem em larga escala para organizar a vida dos indivíduos e grupos sociais, como as reuniões de família, bairro, cidade, etc... Frente a problemas de saúde procuramos auxílio de diagnóstico e tratamento, sendo que a terapia adotada também vem a fazer parte da história de vida individual;

b.2) *Prática de Atividades Físicas:* na época em que os povos eram nômades a atividade física era condição de sobrevivência. Com a urbanização e o desenvolvimento tecnológico, o modo de vida das pessoas se tornou sedentário, necessitando assim da criação de meios para realização da atividade física, que passou a ser concebida como uma categoria específica de atividade: o "esporte". A prática do esporte gera satisfação através de mecanismos bioquímicos, e de processos simbólicos associados com a saúde corporal;

b.3) *Cuidados com a Aparência e Autoestima:* a aparência é um requisito central para o indivíduo se inserir na sociedade, uma vez que influencia na avaliação imediata que os outros indivíduos fazem sobre ele. Não existem critérios absolutos para

esta avaliação, pois a aparência está relacionada a aspectos culturais. Podemos dizer, por exemplo, que na cultura brasileira uma pessoa que apresenta uma boa aparência é aquela com boa condição de higiene (cabelos, unhas, corpo, dentes, roupas e sapatos limpos). A autoestima está relacionada com a aparência e com a imagem que o indivíduo tem de si próprio, ou seja, de seu exterior e interior. Os indivíduos vivem imersos em atividades sociais relacionadas com a aparência e autoestima, como por exemplo, o modo de vestuário, maquiagem, cultivo de aparência em locais públicos como praias, clubes, bares, restaurantes etc.;

b.4) *Sexualidade*: dimensão evolutivamente ligada à reprodução, que se autonomizou como esfera de comportamentos tipicamente voltados para a satisfação em termos corporais, também envolvendo componentes simbólicos que ultrapassam a genitalidade e favorecem uma erotização de todo o corpo. Na sociedade moderna esta esfera também se libertou do quadro da família, vindo a se inserir em uma meio social mais amplo;

c) **Trabalho**: o trabalho consiste na transformação da natureza e, neste processo, transformação do próprio ser humano. Ao longo da evolução humana as formas de trabalho passaram por várias modificações, desde sua utilização como mera atividade de subsistência, passando a ser um meio de troca, e chegando a se tornar instrumento de capitalização e ascensão social da classe dos proprietários dos meios de produção:

c.1) *Obtenção de Meios de Subsistência*: o homem primitivo trabalhava pura e simplesmente para sua sobrevivência individual, ou seja, construía ferramentas que utilizava para caçar, pescar, se proteger das intempéries da natureza. Com a urbanização e o crescimento demográfico surgiram necessidades que levaram, ao longo dos séculos, à pesquisa científica aplicada ao desenvolvimento de novas técnicas de produção e transformação, gerando a atual revolução tecnológica. Assim, aos poucos se cria uma variedade de novos produtos e, concomitantemente, um "mercado de trabalho" sofisticado. O caráter de subsistência continua presente em toda essa evolução,

uma vez que a sustentação econômica da atual sociedade de massas depende cada vez mais de sofisticadas tecnologias;

c.2) *Consumo*: à medida em que os produtos almejados são gerados pelo trabalho, desencadeiam-se processos de busca por novos produtos. A propaganda gera na sociedade “novas necessidades” de consumo; a busca pela satisfação dessas “novas necessidades” torna-se uma das dimensões da vida dos indivíduos. O meio para conseguí-las é também o trabalho;

c.3) *Competição e Cooperação*: a competitividade constitui aspecto primitivo dos seres vivos, como sustentado pela teoria darwiniana da “luta pela vida”. A progressiva discrepância entre uma limitada oferta de posições e uma crescente procura, no “mercado de trabalho” das sociedades contemporâneas, terminou por atizar a competitividade. O indivíduo não só disputa uma vaga de trabalho, como também, quando já está empregado, compete com seus colegas almejando melhor posição. A cooperação também pode ser considerada característica básica dos seres vivos, que se tornou particularmente importante para a organização social do trabalho em sociedades pré-capitalistas, nas quais os indivíduos se agrupavam para desenvolver uma mesma atividade, por exemplo, construção de uma casa, de uma embarcação, confecção de potes de barro etc.. A partir dos mecanismos competitivos do capitalismo mercantilista se estabeleceu a tendência de super-especialização, que muitas vezes dificulta as atividades cooperativas. Contudo, ainda hoje identificamos a presença da cooperação em diversas esferas, como educação, militância política, em comunidades que conservam características de aldeia, em trabalhos comunitários e projetos inovadores de cooperativas de trabalho;

c.4) *Construção do Conhecimento Científico e Tecnológico*: a construção do conhecimento científico, além de ser uma forma de se “ganhar a vida”, também se tornou fonte de satisfação para muitos pesquisadores, que nela vêem uma forma de entendimento da natureza e da sociedade. A pesquisa tecnológica, que também é uma fonte de acumulação de riqueza, traz consigo a sensação de “domínio da natureza” ou mesmo de

domínio sobre outros seres humanos, sendo tal poder uma fonte de satisfação para aqueles que o detêm;

d) **Lazer**: o termo “lazer” faz pensar em distração, prazer, descontração, liberação e remete à idéia de livre escolha do indivíduo. No entanto, segundo Camargo (1989) “os determinismos culturais, sociais, políticos e econômicos pesam sobre todas as atividades do cotidiano, inclusive sobre o lazer”. Sendo assim, não podemos falar em um lazer que fosse absolutamente livre. O que existiria no lazer seria, segundo o mesmo autor, uma maior liberdade nas escolhas do que nas atividades de trabalho, família, religião e política;

d.1) *Descanso*: subentende-se que as atividades de lazer proporcionem um descanso. Este não é exclusivamente físico, mas também mental, uma vez que o indivíduo escolhe como lazer atividades que rompem com sua rotina cotidiana e que estão livres das pressões do trabalho;

d.2) *Jogos e Brincadeiras*: estes constituem o rol das atividades lúdicas, fonte de prazer para muitos indivíduos. Incluímos aqui também jogos competitivos como futebol, vôlei, basquete, boliche etc., e ainda gincanas e festas, uma vez que estas são repletas de atividades lúdicas;

d.3) *Diversão Passiva*: esta terceira dimensão do lazer consiste em se “distrair” a mente com amenidades, que sejam curiosas, engraçadas ou mesmo mórbidas; essa dimensão se revela em atividades cotidianas como assistir TV, cinema, ouvir música, enfim, presenciar passivamente atividades artísticas, cívicas e esportivas;

d.4) *Dedicação a um "Hobby"*: observa-se na sociedade contemporânea, onde a especialização no trabalho se radicalizou, que os indivíduos se dedicam em seu tempo de lazer a formas prazerosas de atividade, às quais muitas vezes se destinam esforços comparáveis ao do trabalho, porém sem as imposições competitivas características do “mercado de trabalho”. Dentre tais atividades, exemplificamos com o colecionar objetos, restaurar objetos antigos, culinária, jardinagem, criação de animais domésticos, etc.

e) **Sociabilidade:** o estabelecimento de laços sociais, além da esfera do trabalho, constitui fonte de gratificação para o ser humano, que dessa maneira se sente reconhecido, confortável e seguro na comunidade em que vive. São diversas as formas de sociabilidade, podendo-se destacar:

e.1) *Atividades Políticas:* a participação, direta ou indireta, na decisão dos rumos da sociedade é um direito e um dever dos indivíduos que vivem em regimes democráticos, e também se torna necessária para combater regimes totalitários, quando estes se estabelecem;

e.2) *Comunicação Social:* a comunicação entre os indivíduos, seja de modo informal (pessoalmente, trocando informações sobre o tempo, humor, estado de saúde, eventos de interesse, etc.), seja de modo mais sistemático (correspondências postais, telefone, correio eletrônico, etc.), é parte fundamental da sociabilidade, e um passo inicial para relações mais íntimas (amizade, namoro, casamento, etc.);

e.3) *Fazer Compras:* o ato de fazer compras também se transformou em oportunidade de estabelecer laços sociais, seja em uma feira de rua ou em um 'Shopping Center';

f) **Transcendência:** incluem-se aqui aquelas atividades pelas quais os indivíduos buscam uma nova condição, no plano natural ou mesmo sobrenatural, que lhes permita amenizar a angústia da morte, e realizar plenamente sua liberdade. Estas atividades incluem:

f.1 *Arte:* do ponto de vista do autor da obra de arte, e/ou do participante ativo na fruição desta obra, a criação artística é uma forma de transcendência, que possibilita uma realização não só no plano simbólico, mas também no plano da realidade física/biológica/psicológica/social, uma vez que ao se dedicar a uma atividade artística os indivíduos se transformam em todos os níveis de sua existência;

f.2 *Religião e Mística:* as religiões fornecem doutrinas e rituais acessíveis para amplos setores da população, como meio de transcendência dirigida ao sobrenatural. Embora a força motivadora primária destas atividades esteja no plano simbólico,

mesmo quando essa motivação é perdida, ou diluída, as organizações religiosas ainda se tornam profundamente influentes no plano da coletividade, possibilitando a criação de laços afetivos, familiares e até econômicos, entre os seus seguidores. Estes últimos aspectos não se encontram presentes na atividade mística, que mobiliza recursos individuais ou de um pequeno grupo para um acesso privado aos mistérios do mundo natural e/ou sobrenatural;

f.3 *Filosofia*: na área da *metafísica*, a filosofia propicia uma forma de transcendência por meios primordialmente racionais, permitindo-se elaborar encadeamentos de idéias que conduzam a conclusões plausíveis, a respeito dos aspectos da natureza que sejam inacessíveis ao método científico, ou a respeito de uma possível realidade sobrenatural, como ocorre na reflexão teológica.

6. A DINÂMICA DA VIDA MENTAL: SAÚDE E TRANSTORNO MENTAIS

Uma satisfação individual pode ser alcançada de várias maneiras, através de cada uma destas categorias, e também por meio da interação entre elas. Uma primeira forma de interação ocorre quando as satisfações obtidas pela atividade em duas ou mais categorias se somam, compondo de forma acumulativa a função global de satisfação do indivíduo. Ainda no âmbito desta primeira forma de interação, pode ocorrer que as categorias isoladamente não sejam fonte de satisfação, mas que em seu conjunto venham a sê-lo. Neste caso, o indivíduo só conseguiria obter satisfação através da somatória das categorias. Por exemplo, para um indivíduo que não se sobressai em nenhuma categoria, tanto a família, o trabalho, o corpo, o lazer, têm a mesma medida. A fonte de satisfação estaria no fato de que o conjunto de suas ações relacionadas com estas categorias se apresenta como harmonioso e adequado frente ao "modelo de eu" que incorporou ao longo de sua história individual.

Uma segunda forma de interação entre as categorias seria a compensação entre atividades hiper e hiposatisfatórias. Neste caso o indivíduo não conseguiria obter satisfação em uma ou mais categorias, mas compensaria esta carência por meio de uma hipersatisfação obtida em outra(s). Por exemplo: um indivíduo que

não consegue obter satisfação na família se sobressai no trabalho; aquele que não consegue obter satisfação no trabalho e nem na família pode atingir satisfação corporal através da alimentação ou da prática de um esporte, aquele que fracassa em todas as categorias anteriores eventualmente encontra compensação no lazer, etc. Com certeza algumas destas configurações são frágeis e não se sustentam ao longo da história de vida do indivíduo, conduzindo a rupturas que podem se agravar a ponto de gerar transtornos mentais.

Uma terceira forma de interação, que pode ser tanto destrutiva quanto construtiva, consiste no conflito entre atividades que ocorrem em diferentes categorias, de modo que a obtenção de satisfação em uma delas se torna contraditória com a obtenção de satisfação em outra. Por exemplo, em certas profissões o excesso de exigências no trabalho geram conflitos com a vida familiar e com a sociabilidade, levando ao estresse e forçando uma reorganização da vida do indivíduo; excessos na alimentação e/ou na bebida podem levar a conflitos com o trabalho e a família, etc...

Considerando-se conjuntamente as três formas de interação, podemos caracterizar a vida mental de um indivíduo como *um sistema que se auto-organiza* (segundo os critérios compilados por Pereira Jr., 1995) uma vez que não existem categorias hierarquicamente superiores e inferiores. Como consequência, sua história de vida será a resultante do livre jogo das determinações oriundas de cada categoria. Combinando-se determinantes de satisfação em cada uma das categorias e sub-categorias, ao longo da vida do indivíduo, e levando em conta o modo de interação entre tais categorias (se os níveis de satisfação se somam, se compensam ou se contradizem), podemos traçar uma resultante, que seria justamente a *função de satisfação* do indivíduo em sua história de vida.

Adotando, neste momento, uma suposição teórica adicional, poderemos mostrar a utilidade do modelo acima para a psiquiatria. A suposição seria que para cada indivíduo se poderia definir *um nível mínimo* da função de satisfação, de modo que uma dinâmica que se mantenha acima deste nível fosse caracterizada como "saúde mental", ao passo que uma permanência continuada abaixo do nível mínimo tivesse como consequência a deflagração de um transtorno mental. Esta concepção da dinâmica mental, devido ao seu caráter multifatorial, seria, em princípio, compatível com as diversas teorias a

respeito da origem do distúrbio de personalidade – as quais, na coletânea organizada por Clarkin e Lenzenweger (1997), se classificam em cinco tipos: teorias cognitivas, psicanalíticas, interpessoais, evolutivas e neurobiológicas.

Percorrendo uma linha de pensamento semelhante à aqui exposta, Cullberg (1998) entendeu que “quando a realidade é complicada demais, dolorosa demais ou por qualquer outro motivo impossível de ser encarada, e quando nossos mecanismos de defesa não estão mais funcionando, o ego se desintegra. A pessoa tenta compensar a experiência extremamente ansiogênica de não ter mais uma personalidade (ou ego) íntegra, e regride no seu pensamento e em suas fantasias... A estratégia de sobrevivência mental chamada psicose poderia assim ser considerada como uma teoria provisória que esta pessoa tem sobre o mundo. Ela será mantida durante o processo de cura até que o ego esteja pronto para reintegrar as realidades interna e externa, possibilitando assim que a personalidade funcione sem os delírios”.

Esta proposta encontra um paralelo na atual visão de reabilitação psicossocial, que pode ser exemplificada nos modelos conceituais e operacionais discutidos por Saraceno (1999), como o proposto por Luc Ciompi, e o modelo de Treinamento de Habilidades Sociais (*Social Skills Training*, ou SST). Ambos têm como base a teoria da vulnerabilidade e enfrentamento. A vulnerabilidade psicológica de uma pessoa se define como uma capacidade de reação a acontecimentos estressantes, no ambiente familiar ou de trabalho. Os acontecimentos podem levá-la ao desenvolvimento de transtornos mentais, quando exigem, para seu enfrentamento, habilidades que não foram elaboradas pela pessoa. Existem, portanto, *fatores de vulnerabilidade*, que são inversamente proporcionais à capacidade de enfrentamento de acontecimentos estressantes. Cullberg (1998) cita entre estes fatores os inespecíficos (como isolamento, falta de sono, doenças somáticas e efeitos do uso de tóxicos) e os específicos (crises existenciais, reações de perda pessoal, eventos traumáticos e conflitos insolúveis).

O modelo proposto por Ciompi assume que no decorrer da vida uma pessoa pode se deparar com situações difíceis, nas quais sua capacidade de enfrentamento se encontra reduzida, e assim pode se desencadear um processo que conduz ao transtorno mental. Para

Ciampi, a crise vivida pode trazer para o sujeito mudanças e crescimento, porém se não for acompanhada de resolução saudável poderá trazer rupturas no processo existencial. O modelo SST enfatiza a possibilidade de desenvolvimento das habilidades de enfrentamento de situações sociais, deste modo reduzindo o patamar de vulnerabilidade da pessoa.

Em conclusão, notamos que a diversidade de fatores a serem trabalhados na reabilitação psicossocial corresponde à variedade de categorias da vida mental de uma pessoa. O profissional de saúde mental pode, através de um processo de comunicação com o portador de sofrimento mental, e de atividades práticas, agir como facilitador na construção de novas configurações mentais, nas quais o sistema de categorias se auto-reorganize, possibilitando a obtenção de níveis mínimos de satisfação, e deste modo, se estabilizando em um novo padrão de relações.

Agradecimento: CNPq (Alfredo P. Jr.)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRABANT, G.P. *Chaves da Psicanálise*. 3.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1981. .
- CAMARGO, L.O.L. *O Que é Lazer*. 2.ed. São Paulo: Brasiliense, 1989.
- CLARKIN, J.F. & LENZENWEGER, M.F. *I Disturbi di Personalità --Le Cinque Principali Teorie*. Milano: Raffaello Cortina Editore, 1997.
- CULLBERG, J. *Fatores Facilitadores e Complicadores na Cura da Psicose: uma Visão Integrada Bio-Psico-Social*. Ribeirão Preto: Hospital das Clínicas/USP, 1998. (transcrição de conferência).
- DEACON, T. W. *The Symbolic Species: The Co-Evolution of Language and the Brain*. New York: W.W. Norton, 1997.
- DEBRUN, M., GONZÁLEZ, M.E.Q.; PESSOA JR., O. *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares em Filosofia, Ciências Naturais, Humanas e Artes*. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência/UNICAMP, 1996.
- FREUD, S. *Obras Psicológicas Completas de Sigmund Freud*. Rio de Janeiro: Imago, 1996. v. 5 e 12.

HUNDERT, E.M. *Philosophy, Psychiatry and Neuroscience, Three Approaches to the Mind: a Synthetic Analysis of Human Experience*. Oxford: Clarendon Press, 1989.

LAPLANCHE, J. *Teoria da Sedução Generalizada e Outros Ensaios*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1988.

MINKOWSKI, E. *Le Temps Vécu*. Paris: Arrey, 1933.

PEREIRA JR., A. Auto-Organização, Espacialidade e Temporalidade Biológicas. In: ÉVORA, F.R.R. *Espaço e tempo*. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1995.

SARACENO, B. *Libertando Identidades: da Reabilitação Psicossocial à Cidadania Possível*. Rio de Janeiro: Te Corá, 1999.

WINNICOTT, D.W. *A Criança e o Seu Mundo*. 3.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

Celson Diniz Pereira
UFMG

"As long as the brain is a mystery the universe, the reflection of structure of the brain, will also be a mystery... for although man seems to have mastered the mystery of the galaxies and the spinning of the atoms, in fact he does not know them at all until he understands how he understands them" (RAMON y CAJAL, Newsweek, 02/1983).()*

PARTE I: EDUCAÇÃO E "CONDIÇÃO HUMANA"

1. INTRODUÇÃO

Este texto reúne algumas idéias de trabalhos em andamento e novas tentativas a serem enquadradas naqueles trabalhos. Ele se refere a uma busca de elementos enquadráveis num espaço, em vias de constituição, denominado Ciência da Educação (CE).

As propostas aqui apresentadas baseiam-se em suportes oriundos de Neurociência Cognitiva Contemporânea, visando-se conjugação com aquele espaço.

O texto é apresentado de forma sumaríssima, levando-se em consideração a complexidade e abrangência dos temas, o quanto há por ser feito e o reduzido espaço disponível, não pode ser mais do que esquemático. Mesmo assim é muito importante que estas idéias sejam objeto de uma publicação. Com efeito, a publicação permite a contribuição de críticas, sendo que a composição de um conjunto sistêmico, básica para constituição de uma estrutura científica, elabora-se, naturalmente a partir de esquemas a serem aperfeiçoados, segundo será explicitado abaixo. O trabalho, aqui apresentado, constitui-se de duas partes:

A primeira trata de problemas relativos à concepção de educação passando por considerações relativas a aspectos corpóreo-estruturais, fenomenológicos, primários do ser humano. Aqui, a preocupação fenomenológica visa, em particular o aspecto de constituição científica, segundo anunciado acima. Ao mesmo tempo, coloca-se uma questão, problema central neste trabalho:

Como conciliarem-se, em uma teoria, os aspectos mentais, lógico-lingüísticos, imponderáveis, etéreos - pólo Complexidade, Funções Superiores do Sistema Nervoso Central - aparentemente não dissipativos, com os aspectos corpóreos, pesados, determinados por economia da energia (Bio-físico-química)?

Pode-se dizer que, nos sítios das teorias tradicionais da Educação, os primeiros aspectos, mencionados acima, são vistos a partir de óticas da Filosofia, Epistemologia, Psicologia Clássica etc.

A questão, relativa à interação do indivíduo com o sócio-cultural, sem cujo tratamento, o enfoque da questão educacional é incompleto, não será incluída nestas discussões.

Com a segunda parte, buscam-se elementos para um tratamento da mencionada questão central formulada na primeira parte.

Esta constitui-se de reprodução, sem alteração significativa, de um artigo publicado na revista *Grifos* da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC), Campus de Chapecó (1994). Ela é, assim, apresentada, em virtude de sua atualidade, entre outros motivos.

2. EDUCAÇÃO E CONDIÇÃO HUMANA

A denominação Ciência da Educação (CE) existe há mais de vinte anos, mas não foi estabelecido um acordo relativo a um tal ciência, entre os profissionais envolvidos. Millar e outros (Millar, Leach, Osborne, 2000) referem-se à circunstância segundo a qual, não obstante significativo número de publicações, ainda se pergunta por "áreas de concordância sobre bases teóricas", observando que "...não existe unificação de métodos e linguagem", entre outras incompletudes. Os autores dedicam a referência acima a estas e outras questões.

Pode-se acreditar que o trabalho teórico referente a questões educacionais (Ensino-Aprendizagem) não se tem realizado em níveis menos efetivos do que o que tem sido possível. Quer dizer, para concretizar atividades envolvidas em tais questões, os pesquisadores têm sido compelidos a derivar suas fundamentações de idéias estabelecidas ao longo de séculos por psicólogos, sociólogos, filósofos ... em enfoques epistemológicos. Com efeito, no enfoque daquelas questões, por motivos razoáveis, aqueles pesquisadores têm-se sentido compelidos a referi-las a instâncias relativas aos seres humanos em contextos mente-comunicação, ainda não tratáveis cientificamente.

Dentro de um "possível", idéias e propostas são, freqüentemente, referidas aos nomes dos autores, muitas vezes sob confrontos de pontos de vista. O enfoque daquelas mencionadas questões com maior objetividade e menor divergência, de uma forma ou de outra, é de interesse dos profissionais envolvidos e dos destinatários dos resultados de seus trabalhos. A busca de uma tal meta tem a ver com o estabelecimento de uma CE, como o entendemos.

Sem a pretensão de abandonar as considerações dos autores mencionados acima e outros, entendemos que propostas diferenciadas podem ser feitas, para o estabelecimento de elementos relativos a uma Ciência da Educação. Em particular, aqui, tem-se a Neurociência

Cognitiva em posição de destaque, se não central, de um certo espaço multidisciplinar, assumidas certas conjugações não muito usuais. Abaixo são apresentadas colocações e questionamentos básico-preliminares.

O estabelecimento de uma CE é conjugado, aqui, com a problemática da construção de uma Psicologia Científica. Esta, inicialmente proposta por Freud, tem nos trabalhos de Edelman, alguns dos quais, aqui mencionados, suas proposições mais abrangentes e efetivas, segundo entendemos. Não obstante o que resta para ser feito, um avanço significativo pode ser efetuado na elaboração de mencionados elementos relativos à CE.

Tem-se em mente um enfoque interdisciplinar extenso e não imaginamos que tenha a ver com reducionismos etc.

Entre outros embasamentos, nas concepções, aqui adotadas, devem-se estabelecer fundamentos de natureza fenomenológica, dos quais se possa, inclusive, derivar uma conceituação da maior abrangência para o que se deve entender por Educação: sua natureza imbricada na problemática da "condição humana" etc. Naturalmente, não se trata de tarefa menor. Tradicionalmente, filósofos, religiosos e escritores das mais variadas tendências tratam tal questão, freqüentemente, de forma brilhante/comovente, mas não enquadrável em teorias científicas: Aqui, uma preocupação básica.

Para facilitar, antes de tratamento de maior-rigor técnico, apresentamos ilustrações simples das quais se possam derivar implicações de amplo compartilhamento entre profissionais de diferentes especialidades, permitindo explicitar elementos preliminares de mencionados fundamentos.

Queremos observar/constatar aspectos constitutivo-comportamentais do ser humano naquilo que ele possui de mais primário. Aspectos, aqueles, decorrentes de processos funcionais de emergência corpórea, descritíveis em espaços tratáveis em linguagens de teorias físicas etc. (Não necessariamente calculáveis). Consideremos os relatos abaixo:

I - A GUERRA DO FOGO (Filme canadense de Jean J. Arnaud, Canadá – Oscar de melhor filme estrangeiro, 1976)

Nesta peça podem-se observar aspectos comportamentais de humanos de oitenta mil anos atrás. Embora sem apresentar novidades, é perceptível um tratamento científico, o que, associado à força expressiva das imagens, torna este trabalho muito interessante para nossos objetivos, em especial pelos destaques seguintes:

- Aqueles humanos tinham uma linguagem, aparentemente, não muito mais evoluída do que os meios de comunicação de animais não humanos.
- Indivíduos em diferentes tribos passavam seu tempo à procura de alimentos, defendendo-se dos ataques de grupos rivais e de animais selvagens. Ao mesmo tempo, aqueles que não dominavam, então, a extraordinária tecnologia necessária, deviam manter aceso o fogo que haviam roubado de outra tribo. Se aquele se apagasse, enfrentariam as noites no escuro, comeriam cru.
- Um pormenor importante e chocante refere-se ao baixo nível de consciência e consideração com relação ao outro, como o entendemos hoje.
- Ao mesmo tempo, é comumente constatado-se sentimentos emergentes primários relativos ao outro: Compartilhamento de grupo, sentimento de perda do outro etc.

- Comportamentos e ações, daqueles indivíduos, eram bem mais complexos do que o observado com relação aos lobos, que buscavam devorá-los: estes devoravam suas vítimas sumariamente, entre aqueles, os que praticavam o canibalismo, levavam os corpos de seus semelhantes, suas presas, ao fogo, previamente.

- Mas, seu primitivismo deixava claro que suas grandes motivações, restritas a um determinismo

biológico, giravam em torno da economia da energia *física*: Alimentação e satisfação sexual - prática agressiva, sumária e egocêntrica - não obstante a complexidade de seus sentimentos, em relação aos lobos, por exemplo.

- Os indivíduos eram bípedes, ativos durante o dia e repousavam à noite.

II - AS MENINAS-LOBAS (B. Reymond, 1965)

São mundialmente bastante conhecidos casos de crianças que se desgarraram de seus pais e se desenvolveram amamentadas por lobas, como descrito na referência acima: Duas crianças capturadas na Índia em 1920, uma de um ano e meio, outra de oito anos. Esta última sobreviveu até dezessete anos.

- Caminhava e corria de quatro, incapaz de permanecer de pé;
- Só se alimentava de carne crua ou podre. Comia e bebia como animais;
- Acabrunhada de dia e ativa à noite: uivos etc
- De início, nunca chorava ou ria, mas chorou por ocasião da morte da irmã, após período de tentativa de socialização;
- Levou seis anos para aprender a andar;
- Pouco antes de morrer seu vocabulário era de cinquenta palavras;

Com relação aos dias de hoje, atente-se para:

- A freqüência com que se constata a ocorrência de pedofilia, em especial, entre religiosos (Foi divulgada pela imprensa mundial uma intervenção do papa). Não parece evidente estabelecer-se a diferença entre um tal ataque e os hábitos sexuais daqueles primitivos.
- Em guerras de conquista e competições econômicas despreza-se a condição do outro: Entre indivíduos ou entre nações.

3. COMENTÁRIOS PRELIMINARES

- a) Os relatos acima são constatações não abertas a alterações arbitrárias, segundo pontos de vista.
- b) Humanos de 1920 desenvolveram-se com padrões comportamentais próprios de estágios anteriores àqueles de humanos de oitenta mil anos atrás (Segundo relatos referentes às meninas-lobas comparados ao que é apresentado em "A guerra do fogo").
- c) Humanos do terceiro milênio apresentam ações e comportamentos, à primeira vista, tão, exclusivamente, motivados por economia da energia, como o faziam seus antepassados de oitenta milênios atrás, não obstante conviverem, até mesmo em família e em sociedade, segundo requintes de elegância social, com semelhantes orientando-se por humanismo refinado. Observe-se, ainda que, mencionados comportamentos em função de economia de energia, são exercidos com base em sofisticados recursos mentais e tecnológicos resultantes da evolução humana, adquiridos, muitas vezes, nas melhores instituições de ensino superior, ou da maior responsabilidade governamental.

4. DESTAQUES PARA CONCLUSÕES POSTERIORES

Um recém nascido dos dias de hoje pode ser educado segundo padrões culturais de qualquer século de um dos últimos milênios, por exemplo, ou, simplesmente, desenvolver-se como um animal de milênios mais remotos.

Pode-se indagar se as diferenças mais marcantes entre os humanos, contemporâneos e os antepassados, não residiriam mais no nível de conhecimentos caracterizadores de mencionados envolvidos. Com efeito, em conformidade com o referido no item C, contemporâneos de alto nível tecnológico possuem grande conhecimento do "outro", porém, servem-se de tal conhecimento para os mesmos fins chocantes constatados com relação aos pré-históricos: Conhecimentos sofisticados de psicologia, filosofia e outros, podem ser utilizados para

conhecer comportamentos, hábitos do "outro", com o objetivo de destruí-lo, visando em última análise, vantagens em benefício próprio, redutíveis, de alguma forma, a economia da energia: Assim é a guerra de conquista, assim é o jogo da economia, caracterizando, freqüentemente, instâncias do relacionamento humano.

Compondo estas instâncias, notemos que competição é algo que se estabelece já a níveis macromoleculares (Eigen & Schuster, 1986). O aumento da complexidade dos organismos tem o efeito de aumentar os níveis de sofisticação dos processos de mencionada competição, em particular pela ocorrência da cooperação em níveis mais elevados, mas, em decorrência, em especial, do aprimoramento da *memória* e da *consciência*, no decorrer do tempo. Por exemplo, podem decorrer destas últimas instâncias, entre outros: (i) competição radical com elegância: o espadachim que interrompe o duelo para que seu rival recupere a posse da espada que lhe escapou da mão (i i) a destruição da mente do outro, em lugar da destruição física etc.

As observações expostas nos parágrafos acima sugerem que, no correr dos milênios, o ser humano conserva em seu sistema nervoso (SN), *estruturas/funções persistentes* que induziriam *linhas comportamentais persistentes*: impulsos, (instintos nos animais menos complexos), e a mencionada orientação, generalizada, para uma economia da energia etc. Ora, tais observações, isoladamente, não apresentam novidades, mas, segundo se pode entender, aqui, conjugadas em novas instâncias/estruturas, são importantes em enfoques, como se pretende aqui. *Deve-se observar que não há como desvincular vida e evolução de economia da energia, que faz parte do existir.* Como fazer um enquadramento científico, de uma tal circunstância? (É o que se está perguntando, reiteradamente)

Assim, pode-se indagar se um tal inevitável, não teria a ver com a origem da razão de ter sido proposto o dogma do pecado original: Um preço de o humano possuir, em sua natureza, o que natureza material tem de grosseiro.

Por outro lado, sem a pretensão de ampliar a discussão, aqui, é interessante questionar-se sobre os aspectos, cada vez mais refinados, que se tem constatado com relação à matéria, nos domínios da ciência contemporânea, em particular da física do muito pequeno e do muito

complexo, em especial compoendo-se com a biologia. Questionamentos referentes a tais aspectos são essenciais/constitutivos do programa de trabalhos em foco.

5. CONCEITO DE EDUCAÇÃO

Dentro das condições do que foi apresentado acima, quando se tem em mente o problema do desenvolvimento humano podem-se estabelecer dois pólos bem definidos:

- 1) O espaço do conhecimento relativo à natureza, aí incluídos aspectos *bio-físico-químicos* corpóreos, constitutivos: *estrutura e energia/economia*. (Com relação a humanos). Pode-se dizer que, aqui, se tem a ver com *estruturas persistentes invariáveis a mudanças de gerações*.
- 2) O espaço dos caracteres emergentes do convívio do indivíduo com o sócio-cultural, caracteres estes que não podem ser biologicamente herdados, segundo se pode inferir do exposto acima: uma relação considerável de valores, hábitos, estilos de vida desenvolvidos ao longo de séculos e milênios: altruísmo, ética, cidadania, civismo, ideologia, filosofia, respeito, humanismo, solidariedade, honra, nobreza de espírito, honestidade, universalidade etc: *Elementos persistentes no âmbito sócio-cultural, não mais.*

Aqui se situa a complexidade associada ao que, na segunda parte deste trabalho, será denominado *sistema indivíduo-econômico-ambiente-sócio-cultural*. Ora, os componentes desses dois espaços parecem exaurir o espaço da educação.

Assim finalizando a apresentação da primeira parte deste texto, propomos uma conceituação ampla de educação e apresentamos um questionamento a ser, sumariamente enfocado na segunda parte deste texto:

Educação deve constituir-se de um conjunto de processos pelos quais um recém-nascido possa passar daqueles estágios de primitivismo, descritos acima, para uma

orientação de vida em que compartilhe de conhecimentos e valores constantes dos dois mencionados espaços descritos acima: uma harmonização da interação indivíduo-econômico-ambiente-sócio-cultural.

Já nos referimos à circunstância pela qual comportamentos persistentes devem estar associados a estruturas persistentes do SN. Por outro lado, como os indivíduos adquirem hábitos e condicionamentos comportamentais, não herdáveis biologicamente, *não persistentes, mas constitutivos*, do ponto de vista do emergente contexto sócio-cultural, é necessário admitir que o convívio sócio-cultural induz à formação de estruturas do SN correspondentes àqueles condicionamentos/comportamentos. (Antecipamos que tais estruturas devem estar associadas ao que se denomina *Funções Superiores do SN*). Tais estruturas – referentes a persistentes e induzidas sócio-culturalmente – devem ter suas peculiaridades.

Para ilustrar o que se tem em mente com o questionamento referente a tais estruturas diferenciadas do SN (herdáveis e não-herdáveis biologicamente), considere-se o relato referente à menina-loba: Nascida no século vinte teve um desenvolvimento correspondente ao de milênios atrás. Sem convívio sócio-cultural não houve como desenvolverem-se certas funções neuronais, constitutivas, naturalmente.

Estamos assumindo, aqui, que, para o estabelecimento de elementos constituintes de uma Ciência da Educação, segundo pode ser proposto, será de extrema importância ampliarem-se conhecimentos relativos a tais estruturas e relacionarem-se suas funções associadas aos processos de aprendizagem. Não é usual fazer-se uso de tais estruturas por insuficiência do que se tem conhecido a seu respeito, mas não se pode menosprezar sua fundamentalidade.

Notemos que, neste contexto, poder-se-ão e dever-se-ão fazer progressos referentes a processos de produção lingüística, algo do gênero *conjugação histórico-neuro-fenomenológica da linguagem*. A linguagem constitui recurso permitindo ao indivíduo livrar-se de seu isolamento etc.

A Neurociência Cognitiva Contemporânea tem-se mostrado suficientemente rica em resultados utilizáveis em modelos para um tal programa de investigação. Por exemplo, dentro da problemática esboçada podem-se integrar conceituações referentes a corpo, energia, percepção, memória, conceitos, linguagem, consciência etc.

As quatro últimas funções fazem parte das *funções superiores do sistema nervoso central*, as quais estão nos planos de integração para se elaborar uma "teoria" que conduza a uma efetiva "*Psicologia Científica*" (Edelman, cf. 2.3 abaixo).

A propósito de mencionadas funções superiores e suas estruturas associadas, é interessante perguntar se tais estruturas e funções não estariam relacionadas aos processos da denominada "ascensão de Kundalini", há muitos séculos, tão familiar entre os "yogues": Um conjunto de centros energéticos a partir da região pélvica até a parte mais alta da cabeça, no córtex (Isto já alvo de enfoque científico)

Temos, assim, elementos para se formular a questão aludida na apresentação deste trabalho:

Como conciliarem-se, em uma teoria, os aspectos mentais, lógico-lingüísticos, imponderáveis, etéreos – pólo Complexidade, Funções Superiores do Sistema Nervoso Central - aparentemente não dissipativos, com os aspectos corpóreos, pesados, determinados por economia da energia (bio-físico-química)?

Como empregar as implicações em Psicologia e em Educação?

Para um encaminhamento neste sentido é apresentada a segunda parte deste texto.

I. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos fundamentais do trabalho científico relativo a um determinado sistema consiste em determinar estruturas deste sistema e como delas emergem diferentes funções. Em se tratando do Sistema Nervoso Central (SNC), trabalhos científicos dentro dos objetivos mencionados acima têm, tradicionalmente, esbarrado em dificuldades de todo porte: enorme complexidade ou carência de informações concernentes ao cérebro humano, etc.

Quanto às funções superiores do SNC, há divergências sobre até suas próprias naturezas, entre diferentes autores. Por exemplo, o antigo e ultrapassado problema mente-cérebro foi visto por Eccles sob ótica de interação entre *eventos não materiais* e *eventos neuronais*, etc. Funções mais tratáveis como visão e audição, inequivocamente são enquadráveis no campo da Neurofisiologia, mas com relação a fenômenos mais complexo do que percepção, estes chegaram a ter reivindicação de exclusividade por parte de psicólogos: tentativas de estabelecer as mencionadas relações estruturo-funcionais, dentro de parâmetros muito compatíveis com ciências exatas foram encaradas como invasão de território disciplinar. O famoso projeto para uma *psicologia científica* de Freud não foi levado à frente. Fatores de natureza diversa tornam o problema mais delicado: oportuno mencionar o desconforto que, há muitos séculos, acompanha significativa parcela dos seres humanos, em decorrência de terem suas existências ligadas a substratos materiais.

Um progresso importante ocorreu nos últimos quinze anos. Em particular, a Teoria da Seleção dos Grupos Neurais (TSGN), de Edelman (1987), baseia-se na concepção de estruturas e funções neuronais tendo como uma de suas metas elaborar bases assentadas em disciplinas biológicas para a psicologia científica. Partindo de profundo e cuidadoso confronto interdisciplinar - da Biologia Molecular à Etologia -, sem deixar de lado questões de fundo filosófico, a TSGN (Edelman, 1987) afirma-se em intercâmbio regular (concordância-discordância) com a comunidade científica internacional, sem dar a impressão de estar a invadir territórios

disciplinares, mesmo porque ela reforça a corrente que acredita num projeto biológico para a psicologia, etc.

Ainda que haja razões fortes para cremos em sua grande confiabilidade, tal teoria está em fase de assimilação. Então, seria importante estabelecer confronto de suas bases com outras frentes disciplinares que, mais antigas, e, apontando para o futuro, tenham conquistado maior estabilidade científica. Por este motivo, é importante constatar-se o que entendemos constituir (Edelman, 1991) grande coerência de fundamentação teórica entre a TSGN e a uma linha de trabalhos, aqui denominada Teoria da Auto-organização (TAO), a partir de Prigogine. Trata-se de trabalhos de natureza científico-filosófica (Prigogine & Steingers, 1984), Atlan, e, no campo da físico-química (Nicolis-Prigogine, 1989), Haken e outros.

Auto-organização designa uma propriedade pela qual as características de evolução de um sistema são ditadas por elementos intrínsecos do próprio sistema, embora este deva intercambiar material, energética e informacionalmente com o mundo exterior. A teoria da Auto-organização apresenta resultados fundamentais, emergentes de físico-química, aplicáveis a sistemas biológicos e podendo-se considerar que estabelece bases teóricas para resultados empíricos do darwinismo.

Os sistemas abrangidos pela teoria em questão, portando propriedades de auto-organização, situam-se entre escalas moleculares e de sociedades animais, abrangendo problemas de ecologia e meio ambiente. Este domínio de estudos engloba ainda trabalhos referentes à origem da vida (Eigen & Schuster, 1986).

Então, a coerência entre esta última teoria e a TSGN é muito importante.

Outro aspecto básico de fundamentação do qual tomamos conhecimento, inicialmente através de publicação do próprio autor da TSGN, concerne à profunda relação desta com a Ciência Cognitiva Contemporânea, em especial no que se refere ao trabalho de Lakoff (1987). Este trata de categorias conceituais e sua natureza não clássica, etc. Classicamente, categorias conceituais qualificam-se por duas peculiaridades básicas:

- a) Têm natureza abstrata autônoma, independente do caráter corpóreo de quem as concebe;
- b) Membros de uma mesma categoria são caracterizados por possuírem, exatamente, as mesmas propriedades.

Na nova concepção:

- a) Membros de uma mesma categoria podem apresentar grande variabilidade;
- b) Categorias conceituais têm também natureza corpórea – *relativas ao organismo pensante.*

Entendemos poder-se verificar que estas três frentes de trabalho são muito coerentes entre si e que daí podem-se estabelecer derivações importantes para o estabelecimento de uma rota de fundamentações para educação em ciência. Neste sentido, apresentamos abaixo, idéias sumárias referentes a questões educacionais e um esboço da TSGN.

2. EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA E UM ENFOQUE SEGUNDO A TSGN

O campo da educação é estruturado à base de derivações de um complexo multi-interdisciplinar inserido na dinâmica de transformações por que passa a ciência neste fim de século.

Educação é um processo indivíduo-sócio-cultural: com seus recursos neuronais o indivíduo deve absorver informações que a humanidade elabora há séculos, capacitando-se a participar da criação de novos conhecimentos. A meta educacional consiste em fazer com que o estudante venha a desenvolver habilidades para:

- a) abstração;
- b) estabelecer confronto crítico de resultados apreendidos ou em fase de apreensão;
- c) via generalização, fazer emergir novos resultados, na própria consciência, produzir conhecimentos;
- d) corrigir enganos relativos a idéias pré-concebidas (há preconceitos históricos);
- e) afirmar suas idéias, que porventura, sejam independentes de condicionamento cultural (o maior problema poderia ser do professor);

- f) formular conhecimentos e linguagens socialmente compartilháveis etc.

Estes itens podem ser bem representados por uma afirmação um tanto vaga, aqui denominada *objetivo básico da educação em ciência* (OBEC). Um tal objetivo básico visa propiciar ao estudante meios para aprender a pensar (cientificamente).

Para organizar bem um programa de atividades relativas a OBEC é necessário assumirem-se posições de princípios relativos à natureza de aprender e de pensar.

Com efeito, a metodologia adotada por um educador deverá depender do que ele concebe como sendo a natureza das categorias conceituais (do pensamento). Dentro da concepção clássica, sendo tais categorias independentes de processos biológicos, autônomas a metodologia educacional poderia basear-se na procura de lógicas pré-determinadas, que conduziriam ao conhecimento (aprendizagem). Mas com base na posição adotada anteriormente (itens c1 e d1 acima), a metodologia terá caráter naturalmente construtivista (construtivista aqui, não tem nenhuma inspiração em teorias anteriores, portando tal denominação).

Transposta a etapa de princípios, sugerimos que a rota que conduz à elaboração de pressupostos e metodologias relativas a processos educacionais, etc. passe por conceitos desenvolvidos pela TSGN. Com efeito, esta teoria pode estabelecer a ponte entre o caráter corpóreo básico na nova concepção das categorias conceituais e o corpóreo pensante do sistema nervoso do estudante (Pela TSGN pode-se elaborar uma visão pela qual aprender e pensar processam-se por processos indivíduo-sócio-culturais).

Notemos que, ao se estabelecer uma ponte entre o conceitual/corpóreo e o pensante estamos progredindo no problemática mencionada no fim da primeira parte deste texto:

2.1 – TSGN: NOÇÕES SUMARÍSSIMAS

Ponto de partida (Edelman, 1987): ao nascer, um animal evoluído, como um ser humano, não encontra o meio ambiente (*nicho*)

ecológico), ao qual deve adaptar-se, organizado segundo lógicas, nem rotulado e não nasce portando informações (Edelman, 1987) sobre como orientar-se em tal meio. O animal, para sobreviver, terá que realizar, em seu tempo somático, uma categorização perceptual, com generalização. Isto se faz antes da aprendizagem convencional. Isto significa, que através de registros provenientes de seus órgãos de sentido, os quais conduzem a sua percepção do mundo, o animal deverá desenvolver recursos que lhe permitirão, por exemplo, distinguir animais de árvores, uns se movem e outros não etc.

Categorização perceptual é a função básica a partir da qual outras categorizações e as outras funções são organizadas.

2.2 – Estruturas neuronais e funções neuronais (Edelman, 1987)

Com inspiração darwiniana TSGN propõe que no SNC (córtex), neurônios e sinapses organizam-se como grupos populacionais dinâmicos, evoluindo com processos de competição e seleção (coerência co TAO). Daí, organizações neuronais de alta complexidade processam-se a partir de cinco tipos básicos de estruturas (córtex em especial):

GRUPOS NEURONAIS – centenas e milhares de neurônios com ligações mútuas especiais;

REPERTÓRIOS PRIMÁRIOS – conjuntos de grupos neuronais constituídos anatomicamente entre o início da gestação e o nascimento;

REPERTÓRIOS SECUNDÁRIOS – formados após o nascimento por organizações sinápticas superpostas aos repertórios primários. Este processo é altamente dinâmico estendendo-se por toda a vida.

MAPEAMENTOS LOCAIS – ligações entre repertórios;

MAPEAMENTOS GLOBAIS – as estruturas anteriores, referidas ao córtex e ligadas. Às outras unidades do cérebro (hipocampo, cerebelo etc), constituem mapeamentos globais. Estas estruturas são responsáveis

pela categorização perceptual, que, como foi dito, está na base de todas as outras funções.

Pode ser organizado o seguinte quadro para as funções já estudadas pela TSGN (Edelman, 1987, 1989):

1. categorização perceptual: inicia-se logo após o nascimento; básica para as outras funções;
2. memória: à base de (a) sinais categorizados (b) percursos alternativos (mapeamento paralelo) (c) caráter associativo;
3. aprendizagem: o que foi categorizado é relacionado a centros hedônicos e ao sistema límbico;
4. categorização conceitual: valores acoplados em categorizações relacionadas na memória constituem uma primeira classe de conceitos e níveis inconscientes (valor: o que o animal deve aprender, depende de espécie e estabelece valores);
5. experiência perceptual: correlação entre memória conceitual e categorização perceptual em curso;
6. consciência primária: permite ao animal tratar estímulos em função de suas próprias necessidades, liberando-se da superposição de estímulos provenientes de acontecimentos em curso. Mas por detrás não se constitui um sujeito;
7. linguagem: depende de uma memória especial e de consciência primárias;
8. consciência superior: exige linguagem em contexto social para sua plena realização; possibilita aos indivíduos distinguir passado, presente e futuro e o que é ou não é próprio dele.

Notemos que as estruturas e as funções apresentadas acima fornecem elementos para se enfocarem as questões apresentadas nas discussões relacionadas aos relatos referentes à *Guerra do Fogo* e *As meninas lobo*.

2.3 – OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Notemos que o quadro funcional apresentado em 2.2 contém elementos centrais, constitutivos da psicologia que, por sua vez, é, primariamente, sustentáculo para desenvolvimento do trabalho educacional, teórico e prático.

Consciência é uma instância que transita entre o óbvio e o insondável. Coim efeito, após um acidente, por ocasião dos primeiros socorros, procura-se constatar se o acidentado está consciente. Por exemplo, pergunta-se: "Como é que o senhor se chama?" Comportamento similar podem adotar médicos com seus pacientes. Da mesma forma, o constatar-se se um estudante compreendeu a matéria se faz por constatar-se se ele se tornou consciente de... o que pode ser muito fácil por simples observação de reação fisionômica etc. O insondável fica para outro espaço, em especial quando se tem a ver com os mistérios da própria matéria.

O importante é que entre aprender e estar consciente existe uma relação de constituição, não há como ser de outro jeito. Entretanto se não se tem um certo domínio de como tratar a questão pode-se ter a ver com algo do tipo tentar ver a extremidade do próprio nariz sem poder-se contar com o auxílio de um espelho.

Ora, o que se propõe, o que se procura fazer aqui, contém o estudo dos processos de tornar-se, estar consciente, na oportunidade, de forma não muito mais do que esquemático-prospectiva.

- a) De um lado temos estruturas e de outro funções emergentes (SNC). Não procuramos estabelecer (ou reproduzir das referências) como as funções em foco emergem das estruturas enumeradas mais acima. É suficientemente importante constatar o grande avanço que constitui um tal tratamento para consciência. Propõe-se uma seqüência de processos precursores essenciais para sua emergência. Por outro lado, enuncia-se o que já deveria ser subentendido;
- b) Consciência é a função chave do cérebro;
- c) Consciência superior está no centro dos tópicos delicados aos quais nos referimos no início deste texto. Por isto, no seu

tratamento, Edelman adotou postura de extrema cautela científica: ele cedeu à força dos imperativos "... *analisar consciência em termos de suas origens neuronais...esta questão dever ser confrontada cientificamente se a psicologia deve ser solidamente baseada em Biologia evolutiva*".

Desta forma, sendo a consciência uma função central, de coroamento da atividade mental podemos assumir que aprender (na escola) é um processo de conscientização, ou: consciência é uma função chave do processo de aprendizagem.

Nestas condições, somos conduzidos a conceber que, de alguma forma, efetivar OBEC corresponde a transformar conteúdos de consciência em ciência.

Assim, abrem-se novas vias para o tratamento de várias questões, entre as quais;

1. O que é a relação indivíduo-econômico-sócio-cultural? Por que, como a educação pode ser considerada sob esta concepção?
2. Como conceber o conceito de indivíduo dentro do que se concebe com a TSGN?
3. O que é *história de um indivíduo*?
4. O que significam as metas OBEC?
5. Relações entre categorizações (o quadro de funções acima) e construtivismo;
6. Com base no mencionado quadro de funções, como tratar casos normais, passando pelas gamas intermediárias, casos problemáticos no ensino de conceitos básicos de ciências (exatas me particular)?
7. Na mesma linha: que pressupostos devem balizar a elaboração do livro texto, dos cursos de laboratório, das aulas teóricas; da relação do ensino com o cotidiano, com fenomenologia em geral etc?

Naturalmente, trata-se de um programa a ser desenvolvido,mas entendemos que a esquematização aqui apresentada fornece elementos para se prosseguir em tal empreendimento.

Entendemos que as relações entre OBEC, TSGN, Teoria da Auto-organização e a nova concepção das categorias conceituais constituem um novo contexto científico, permitindo enforçar as questões acima, com redução do caráter epístico-empírico-especulativo, tradicionalmente ligado a estas questões. A riqueza de abrangência e a diversidade humanas, próprias das questões em foco, não ficam diminuídas com o novo enfoque. Por exemplo, se ocorrer que um problema de aprendizagem mencionado no item 4 estiver ligado a problemas de categorização pré-lingüísticas, de pouco adiantarão explicações brilhantes. Será necessário levar o indivíduo a realizar experiências, viver situações, passar por experiências perceptuais etc. até realizar conscientizações, para, então, fazer elaborações lingüísticas e, finalmente, concretizar sua conscientização autônoma... Aí ele aprendeu.

É fundamental a manutenção de bases éticas no processo educacional, para que a eventual surpreendente eficiência técnica de novos rumos, aqui apontados, não se constituam em ferramentas dirigidas contra o próprio ser humano.

()Enquanto o cérebro for um mistério, o universo, como reflexo da estrutura do cérebro, será também um mistério.... já que, embora o homem pareça ter dominado o mistério das galáxias e o movimento giratório dos átomos, de fato ele não os conhecerá de forma completa, até que compreenda como compreendê-los. (tradução livre)*

AGRADECIMENTOS

Com relação à primeira parte:

Sania A. A. M. Pereira, minha mulher, por discussões referentes ao filme "A guerra do fogo" e o artigo "As meninas lobo".

Com relação à segunda parte, por seus antecedentes :

Departamento de Física (ICEX-UFMG – Belo Horizonte-MG)

Grupo Auto-organização dirigido pelo Professor M. Debrun (CLEHC-UNICAMP – Campinas-SP);

Núcleo de Informática Biomédica dirigido pelo prof. R. Sabbatini (NIB-UNICAMP – Campinas-SP);

Prof. Ítala M. L. D'Ottaviano, Eunice Q. Gonzáles, Henrique S. Del Nero, Hugo Mari, Célio Garcia por discussões fecundas e apoio bibliográfico.

Direção da UNOESC-Campus Chapecó que apóia a seqüência deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- B. REYMOND. *Le developpment social de l'enfant et de l'adolescent*. (Apud ARRUDA, M. L. A. & MARTINS, M. H. P. *Filosofando - Introdução à Filosofia*. 1965.
- ECCLES, J. C. *New lights on the mind-brain problem: how mental events could influence neural events*. EGBELING, W. & ULBRICHT, H. (ed.) *Self organization by non-linear irreversible processes*.
- EDELMAN, G. *Neural Darwinism*. New York: Basic Books, 1987.
- EDELMAN, G. *The remembered present*. New York: Basic Books, 1989.
- EIGEN, M. & SCHUSTER P. *Stages of emerging life - five principles of early organisation*. *Desequilibrium and self-organization*. D, Reidel Publishing Company, 1986.
- LAKOFF, G. *Women, fire and dangerous things: what categories reveal about the mind*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987.
- MILLAR, R., LEACH, J., OSBORNE, J. *Improving Science Education*, Open University Press. Buckingham - Philadelphia. 2000.
- NICOLLIS & PRIGOGINE. *Exploring complexity*. New York: Freeman and Company, 1989.
- PEREIRA, C. D. Seminário no CLE-UNICAMP, 1^o. Sem., 1991.
- PRIGOGINE & STENGERS. *A nova aliança*. Brasília: UNB, 1984.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

A

ALMEIDA - 113
ANAXIMANDRO DE MILETO - 18
ANTÍSTENES - 17
ARNAUD - 225
ARISTÓTELES - 18,37,38
ATLAN - 233

B

BACON - 21
BARROS - 104
BARROW - 94
BERGMAN - 21
BERNAL - 54
BEETHOVEN - 64
BLOCH - 154
BOHR - 134
BORGES - 99,113
BRABANT - 206
BRAHE - 50
BROGLIE - 134
BRONOWSKI - 95
BROWN - 94
BUNGE - 96

C

CALABI-YAU - 136
CAMARGO - 213
CARNAP - 21,22,23
CARROLL - 29,35,37

CIOMPI - 217
CLARKIN - 217
COPÉRNICO - 29
COUTINHO - 97,110
CRANE - 92
CRICK - 46
CULLBERG - 217

D

DARWIN - 105,106,111
DAWKINS - 182
DEACON - 205
DEBRUN - 176,202,240
DEL NERO - 241
DELATTRE - 93,97,98,102
DEMÓCRITO - 25,95
D'OTTAVIANO - 241
DESCARTES - 20
DIESTERWEG - 59
DIRAC - 134

E

ECCLES - 99,104
EDELMAN - 146,232,233,235,
236,237,239
EIGEN - 228,233
EINSTEIN - 46,125,131,132,
134
ENDLER - 103
ENQUIST - 94

F

FEIGL - 21
 FEYERABEND - 17,35,36
 FICHTE - 58
 FREGE - 80
 FRÖBEL - 59
 FLUSSER - 112,113
 FREUD - 206,207,232

G

GARCIA - 241
 GOETHE - 64
 GONZÁLEZ - 202,241
 GOPNIK - 107
 GREENE - 94,105,106,107,136
 GREIMAS - 81
 GUIMARÃES - 101,128,149

H

-
 HAHN - 21
 HAKEN - 233
 HEGEL - 58,64
 HEINE - 59
 HEISENBERG - 127,134
 HILBERT - 132
 HOLLAND - 93
 HORN - 94
 HUME - 25
 HUNDERT - 203
 HUSSERL - 205

J

JORDAN - 134
 JUDIN - 46

K

KANT - 21,58,202
 KAUFFMAN - 176
 KEKULÈ - 45,50
 KELVIN - 128
 KEPLER - 50,107
 KLAFIK - 60
 KOCH - 141,142
 KUHN - 20,29,30,31,32,33,34,
 36,106

L

LAKATOS - 35
 LAKOFF - 70,72,73,74,233
 LAMARCK - 105
 LAPLANCHE - 207
 LAUDAN - 35
 LEACH - 223
 LEAL - 147
 LENZENWEGER - 217
 LEONEL - 147
 LEWINSOHN - 113
 LOPES - 113
 LOYOLA - 113
 LUSSI - 101
 LYSENKO - 105

M

MACH - 21
 MAHNER - 96
 MARI - 101,151,241
 MARKOV - 197
 MARTINS - 91,113
 MARX - 58,64,204
 MATURANA - 174
 MAXWELL - 101

MERLEAU-PONTY - 204
MICHAELIS - 18
MICHELSON-MORLEY - 132
MILLAR - 223
MINKOWSKI - 132,204
MONOD - 81,82,83,84,85,86
MORATO - 113

N

NAGEL - 102,106
NÄGLI - 46
NEURATH - 21,36
NEWTON - 105,130,132
NICOLIS - 233
NIETZSCHE - 204
NIKLAS - 94

O

OLIVA - 98,110
OLIVEIRA - 92,93,101,106
ORTEGA Y GASSET - 100
OSBORNE - 223
OTTE - 99

P

PAULI - 134
PLANCK - 126,132,134,135
PEIRCE - 77
PENROSE - 146
PEREIRA - 101,221,240
PEREIRA JR. - 94,101,113,146,216
PESSOA - 202

PIAGET - 203
PICKETT - 98,103,106,108,
111,113
PIMENTA - 113
PLANCK - 113
POINCARÉ - 97
POPPER - 20,25,26,27,36,99,
100,102,104
PRIGOGINE - 233

R

RABI - 119,120
RAMON Y CAJAL - 221
REICHENBACH - 21
REYMOND - 226
RIEMANN - 132
RUSSELL - 21

S

SABBATINI - 240
SARACENO - 217
SCHELLING - 58
SCHLICK - 21,22
SCHOPENHAUER - 204
SCHRÖDINGER - 134
SCHUSTER - 228,233
SIERPINSKI - 141,142
SHAPER - 35,113,147
SILVA - 113,147
SMALL - 92
STAUDINGER - 46,47
STEGMÜLLER - 35
STEINGERS - 233
SUPPE - 100

T

TALES DE MILETO - 19
TARSKI - 27
THAGRAD - 47

V

VICCO - 58
VON NEUMANN - 134
VOLTAIRE - 93

W

WAISMANN - 21
WALLACE - 105,106
WATSON - 46
WEGENER - 106
WELLMAN - 107
WEST - 94
WILLIAMS - 91
WINNICOTT - 209
WITTGENSTEIN - 21,37

Z

ZADEH - 37



ERSOS DO CONHECIMENTO • Rogério P. Martins, Hugo Mari (Eds.) • SBMG/ICB/FALE

85-87470-44-2



8587470447

LETRA
121
U58
2002