

# **Cadernos IHU em formação**

## **Física**

Evolução, auto-organização, sistemas e caos

**Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS**

*Reitor*

Marcelo Fernandes Aquino, SJ

*Vice-reitor*

Aloysio Bohnen, SJ

**Instituto Humanitas Unisinos – IHU**

*Diretor*

Inácio Neutzling, SJ

*Diretora adjunta*

Hiliana Reis

*Gerente administrativo*

Jacinto Schneider

**Cadernos IHU em formação**

Ano 2 – Nº 6 – 2006

ISSN 1807-7862

*Editor*

Prof. Dr. Inácio Neutzling – Unisinos

*Conselho editorial*

Profa. Esp. Âgueda Bichels – Unisinos

Profa. Dra. Cleusa Maria Andreatta - Unisinos

Prof. MS Dárnis Corbellini – Unisinos

Prof. MS Gilberto Antônio Faggion – Unisinos

Prof. MS Laurício Neumann – Unisinos

MS Rosa Maria Serra Bavaresco – Unisinos

Esp. Susana Rocca – Unisinos

Profa. MS Vera Regina Schmitz – Unisinos

*Conselho técnico-científico*

Prof. Dr. Gilberto Dupas – USP - Notório Saber em Economia e Sociologia

Prof. Dr. Gilberto Vasconcellos – UFJF – Doutor em Sociologia

Profa. Dra. Maria Victoria Benevides – USP – Doutora em Ciências Sociais

Prof. Dr. Mário Maestri – UPF – Doutor em História

Prof. Dr. Marcial Murciano – UAB – Doutor em Comunicação

Prof. Dr. Márcio Pochmann – Unicamp – Doutor em Economia

Prof. Dr. Pedrinho Guareschi – PUCRS - Doutor em Psicologia Social e Comunicação

*Responsável técnico*

Laurício Neumann

*Revisão*

Mardilê Friedrich Fabre

*Secretaria*

Camila Padilha da Silva

*Projeto gráfico e editoração eletrônica*

Rafael Tarcísio Forneck

*Impressão*

Impressos Portão

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

*Instituto Humanitas Unisinos*

Av. Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo RS Brasil

Tel.: 51.35908223 – Fax: 51.35908467

**[www.unisinos.br/ihu](http://www.unisinos.br/ihu)**

## Sumário

Apresentação	
A Física no século XX: A consciência ferida do cientista <i>Por Antônio Augusto Passos Videira</i> .....	5
Física Quântica: Da sua pré-história à discussão sobre seu conteúdo essencial <i>Por Paulo Henrique Dionísio</i> .....	11
As ‘digitais’ de Einstein encontram-se em todas as áreas da Física moderna, porém temos que ter cuidado com o charlatanismo <i>Entrevista com Carlos Alberto dos Santos</i> .....	30
A ciência contemporânea ainda funciona de acordo com o determinismo cartesiano <i>Entrevista com Alfredo Gontigo de Oliveira</i> .....	36
Inteligência artificial e robótica <i>Entrevista com Farlei Jose Heinen</i> .....	40
Um debate sobre o lugar do ser humano na imprevisibilidade imanente ao mundo <i>Mesa-redonda com Karen Gloy, Günther Küppers e Carlos Roberto Velho Cirne Lima</i> .....	42
“A simples relação de causa e efeito se tornou complexa” <i>Entrevista com Günter Küppers</i> .....	55
Natureza e liberdade – A Física atual em foco <i>Por Armando Lopes de Oliveira</i> .....	57
A imperiosa criação e recriação dos códigos de entendimento do universo e as revoluções causadas pela Teoria da Relatividade <i>Entrevista com Armando Lopes de Oliveira</i> .....	61
Teoria da Relatividade: uma leitura filosófica <i>Entrevista com Manfredo Araújo de Oliveira</i> .....	65
Por que as leis naturais são como são? <i>Entrevista com Antônio Augusto Passos Videira</i> .....	69
A lógica quântica e a transdisciplinaridade exigem a mudança de nossos hábitos mentais <i>Entrevista com Basarab Nicolescu</i> .....	73
Dialética para entender a cultura <i>Entrevista com Paulo Margutti</i> .....	79

“É preciso combater a idéia de que há uma solução técnica e simples para qualquer problema” <i>Entrevista com Thomas Michael Lewinsohn</i> .....	84
A Cosmologia está mudando a forma humana de pensar <i>Entrevista com Mário Novello</i> .....	87
A dimensão espiritual do cosmos <i>Entrevista com Paul Schweitzer</i> .....	91
Filosofia, bioinformática e tecnoumanismo <i>Entrevista com Timothy Lenoir</i> .....	93
Há urgência de pensar uma nova ética global <i>Entrevista com Nelson Gonçalves Gomes</i> .....	97
O ensino de ciências está longe da formação de cidadãos conscientes <i>Entrevista com Susana Lehrer de Souza Barros</i> .....	100
Copenhagen: montagem paulista sobre a questão nuclear .....	102
Mirada ao passado para fazer uma Terra habitável <i>Por Attico Chassot</i> .....	103
Copenhagen: um desafio à inteligência e à sensibilidade .....	106
Protagonistas de Copenhagen falam sobre a peça .....	107
Copérnico e Kepler. Como a Terra saiu do centro do universo <i>Entrevista com Geraldo Monteiro Sigaud</i> .....	109
Da caricatura empirista a uma outra história <i>Entrevista com Fernando Lang da Silveira</i> .....	112
Investigar fenômenos, utilizando abstrações matemáticas <i>Entrevista com Ney Lemke</i> .....	114
O “xeque-mate” da genialidade do jovem Einstein. Como separar o caráter quântico da teoria quântica que busca descrevê-lo <i>Entrevista com Enio Frota da Silveira</i> .....	116
O universo de Einstein <i>Entrevista com Horácio Alberto Dottori</i> .....	121
A onipresença transformadora dos princípios quânticos: desafios e possibilidades <i>Entrevista com Fernando Haas</i> .....	123

## Apresentação

### A Física no século XX: A consciência ferida do cientista

“Nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependente delas do que o século XX. Contudo, nenhum período, desde a retratação de Galileu, se sentiu menos à vontade com elas. Este é o paradoxo que tem de enfrentar o historiador do século.” (Eric Hobsbawn)

Este trabalho é composto das notas que apresentei numa oficina no **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, promovido pelo Instituto Humanitas Unisinos (IHU). O meu objetivo inicial era preparar uma exposição a respeito do desenvolvimento teórico-experimental da Física ao longo de todo o século XX. Imediatamente, percebi que este objetivo era descabido, não apenas pela imensa quantidade de informações a serem transmitidas à assistência e num tempo muito reduzido, mas também porque eu não abordaria alguns temas que dizem diretamente respeito à ciência – em particular, à Física –, tais como, por exemplo, o desenvolvimento da bomba atômica. Ou seja, analisar a ciência apenas por meio de uma perspectiva que a compreende como um tipo específico de conhecimento não seria possível e, talvez, recomendável para o colóquio em questão. Com base nessa constatação, resolvi escolher um outro tema, o qual considero como muito importante para que possamos compreender a ciência e o seu lugar na sociedade durante todo o século passado: a imagem que os físicos constroem a respeito de si mesmos. Assim, eu estabeleci como objetivos desta oficina os seguintes tópicos:

a) analisar as relações entre a Física e a sociedade;

b) analisar o lugar na sociedade ocupado pelos físicos segundo eles próprios;

c) responder às questões:

- Como é que os físicos explicam a origem dos nossos problemas atuais?
- Quais são as soluções que eles propõem?
- Qual é o papel que os físicos atribuem aos leigos (os não-cientistas) nesses processos?

Evidentemente, eu não tinha a pretensão de esgotar o assunto que escolhi, certamente fascinante e relevante. A minha pretensão era mais modesta: defender a tese de que os físicos do século passado viveram uma crise vocacional séria que começou logo após o final da Segunda Guerra Mundial. Não sei se esta crise já foi solucionada, mas creio, no entanto, que ela provocou uma profunda, e quiçá irreversível, mudança na auto-imagem que os físicos têm de si mesmos.

Como a minha participação no **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade** aconteceu por meio de uma oficina, o que significava que a assistência deveria participar ativamente dela (o que, em minha opinião, aconteceu), acho mais importante, como forma de registro, reproduzir as transparências que projetei na ocasião.

Ainda que constitua uma obviedade, não gostaria de deixar de registrar que o tema deste colóquio requer que saibamos de que modo a física poderá contribuir para manter a Terra um planeta habitável. Talvez algumas das soluções necessárias e desejadas só possam ser obtidas caso haja mais ciência, e não menos ciência.

Diferentemente do que afirma o historiador inglês Eric Hobsbawm a respeito dos sentimentos que o século passado alimentou com relação à ciência, o século XIX, de modo geral, observou a tendência de enaltece-lo e, basicamente, por duas razões: 1) a ciência fornecia explicações sobre a realidade e 2) a ciência, mediante as aplicações tecnológicas que produzia, transformava a vida dos seres humanos. Em outras palavras, talvez um pouco esquemáticas, para o século XX, a ciência passou a ser um problema, enquanto, para o século XIX, ela fora a fonte de soluções.

Um exemplo muito interessante da positividade desfrutada pela ciência ao longo do século XIX encontra-se na defesa que um certo cientista fez da teoria darwiniana da evolução. Certa vez, no final do século XIX, o físico teórico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) disse que, caso indagado sobre a melhor denominação para aquele período, o chamaria de o século de Darwin:

Caso vocês indaguem por minha convicção mais íntima se a nossa época ficará conhecida como o século do aço ou o século da eletricidade ou do vapor, contestar-lhes-ei, sem pestanejar, que ela será chamada de o século da concepção mecanicista da natureza: o século de Darwin.

Ao afirmar isso, Boltzmann não estava privilegiando outras importantes realizações, como o telefone, o aço, o telégrafo submarino, o trem a vapor, entre outras, as quais já tinham repercutido na população, por considerá-las desnecessárias ou mesmo desinteressantes. Ao declarar sua preferência por aquela teoria, Boltzmann pretendia defender, não apenas a importância da teoria darwiniana da evolução, o que, por si só, seria louvável, mas também mostrar que a ciência desfrutava de uma posição central no seio da sociedade humana, uma vez que, ao lado das aplicações tecnológicas que começavam a configurar o cotidiano de milhões de homens e mulheres por todo o mundo ocidental, a ciência, por meio daquela teoria, poderia, finalmente, tentar compreender a natureza do homem. O exemplo de Boltzmann nos mostra o elevado grau de generalização da opinião a respeito do progresso da ciência, a tal ponto que temas, até então considerados impossíveis

para ela, como aquele que indagava pela natureza do homem, já podiam ser investigados por procedimentos científicos.

A opinião de Boltzmann a respeito da ciência era favorável a esta última, tal como já tive ocasião de afirmar. Ao longo de todo o século XIX, a ciência construiu um consenso generalizado a respeito de suas capacidades referentes à compreensão e à transformação do real. Ser civilizado passou a significar dispor de recursos humanos e materiais necessários para a prática da ciência. Fazer ciência passou a ser fator de progresso e parâmetro para avaliar os povos. A visão do século XIX sobre a ciência foi otimista. Para muitos homens do século XIX, a trajetória da ciência seria sempre fadada ao sucesso. Com o passar do tempo, os temores e as críticas à ciência desapareceriam.

Sob certos aspectos, o século XX pode ser caracterizado como o período da história humana no qual ocorreram alguns dos mais importantes eventos e transformações, envolvendo a ciência. De atriz coadjuvante, papel que desempenhou ao longo do século XIX, a ciência passou, no século passado, à atriz principal. No entanto, isso não se fez sem que a sua imagem sofresse mudanças. Se, por um lado, o século XX foi, sob muitos aspectos, um período de tempo favorável à ciência; por outro, e à medida que o século se aproximava de seu final, a ciência voltou a receber uma série de críticas (epistemológicas, éticas, políticas, ambientais etc), as quais afetaram a imagem que tinha até então. A partir da segunda metade do século XX, as pessoas que não praticavam a ciência, mas que viviam sob sua influência direta, começaram a nutrir sentimentos pessimistas com relação a ela. À ciência não mais era concedida – ao menos com a facilidade anterior – a possibilidade de configurar os destinos dos seres humanos. A pergunta “para que fazer ciência?”, que parecia ser respondida facilmente até a década de 1940, começou a ser exposta com mais frequência e ênfase. A resposta “a ciência contribuía para o progresso da humanidade” já não era mais entendida como óbvia ou a única resposta possível. Propagou-se o sentimento de que a ciência não poderia ser promovida e sustentada sem que

se soubesse o “preço” (isto é, as conseqüências) que tais promoção e apoio exigiam.

Começou-se a questionar a idéia, compreendida como evidente entre (em termos aproximados) 1850 e 1950, de que a base da política seria a ciência. O pressuposto fundamental para pensar que a política deveria ser elaborada com base naquilo que a ciência permitia era a neutralidade da ciência. Esse pressuposto foi afirmado, ainda que com variações, a partir do século XVIII. No século XX, ele perdeu o seu ar de obviedade e, defendê-lo, passou a ser uma tarefa árdua. Como não poderia deixar de ser, os primeiros e mais aguerridos defensores da ciência foram os próprios cientistas. Ao longo de todo o século XX, os cientistas tiveram que, publicamente, desempenhar uma tarefa, a qual, é certo, já desempenhavam desde muito tempo, ainda que de modo mais discreto, para a qual, pensava-se, eles não eram especialmente habilitados: fazer política. As fronteiras, que os cientistas e os filósofos seus amigos procuraram criar entre a ciência e o restante das produções intelectuais e práticas humanas, foram, então, submetidas a duras críticas e rejeições. Para os críticos e céticos, o século XX teria mostrado que a ciência não vivia num mundo à parte, no qual as regras de atuação eram específicas e diferentes daquelas outras presentes, por exemplo, nas sociedades. O mito da torre de marfim foi abandonado e, para muitos, para sempre.

### A conscientização dos físicos

A Segunda Guerra Mundial mostrou, de modo irrecusável, aos físicos que eles não mais poderiam acreditar na tese que a ciência seria neutra, isto é, que a ciência poderia ser justificada sem que houvesse referência à política. Os físicos perceberam que não mais poderiam e deveriam permitir que os políticos falassem em seu nome. A declaração abaixo de Max Born (1888-1970), físico

alemão que ganhou o prêmio Nobel de Física por suas contribuições à Mecânica Quântica, é particularmente interessante, pois mostra que a conscientização dos físicos não ocorreu apenas no plano ético, mas também no plano político:

Os físicos são conscientes de que, como conseqüência de seus trabalhos, a humanidade se encontra em um momento de decisão. Nisso baseia-se o seu sentimento de responsabilidade, que move muitos deles. [Eles] não querem ser puros peões, obedientes aos políticos, mas [querem], sim, tomar parte nas grandes decisões, no mínimo como assessores. Como conseqüência desta conscientização, em muitos países foram constituídas associações, cujo objetivo é familiarizar os seus membros com os problemas políticos, aconselhar os governos e obrigá-los a tomar decisões razoáveis.

### Alguns eventos históricos com repercussões diretas sobre a Física

Os eventos abaixo, escolhidos arbitrariamente, têm por objetivo mostrar a presença da Física na política, bem como o inverso. De certo modo, esta linha do tempo procura sugerir que, no século XX, a história da Física é inseparável da história política.

1933 – Ascensão de Hitler ao poder, o que provoca a demissão ou renúncia de muitos professores alemães judeus, ou de ascendência judia, de suas cátedras.

1939 – Albert Einstein (1879-1955)<sup>1</sup> envia carta ao então presidente Franklin D. Roosevelt, assinada por ele, mas que não é de sua autoria, chamando a atenção para o fato de que os alemães poderiam estar interessados em usar, para fins militares, a energia atômica. Início da 2ª Guerra Mundial.

1943 – Início do funcionamento de Los Alamos.

1945 – Lançamento de bombas atômicas sobre o Japão.

<sup>1</sup> Albert Einstein (1879-1955): físico alemão naturalizado americano. Premiada com o Nobel de Física em 1921, é famoso por ser autor das teorias Especial e da Relatividade e por suas idéias sobre a natureza corpuscular da luz. É provavelmente o físico mais conhecido do século XX. A revista *IHU On-Line* n. 135, de 4 abril. 2005, cujo título é *Einstein 100 anos depois do Annus Mirabilis. João Paulo II. Balanço e perspectivas*, teve seu tema de capa dedicado a este importante físico. (Nota da *IHU On-Line*)

- 1950 – Niels Bohr (1885-1962)<sup>2</sup> envia à ONU uma carta pública, na qual defende a idéia de que é preciso estabelecer colaboração internacional entre os países para evitar uma corrida armamentista. Criação da National Science Foundation (EUA).
- 1954 – Robert Oppenheimer é acusado de atividades antipatrióticas.
- 1957 – Lançamento do Sputnik.
- 1975 – Andrei Sakharov recebe o Prêmio Nobel da Paz.

### Efeitos da Segunda Guerra Mundial sobre os físicos e a imagem que a sociedade constrói da Física

- Os físicos sofrem de uma crise vocacional, isto é, não sabem determinar qual é a sua motivação principal;
- o público leigo começa a desconfiar da ciência, que se mostra capaz de gerar efeitos nocivos à sociedade.

### A vocação do físico por ele mesmo

Até a Segunda Guerra Mundial, era muito comum que os físicos afirmassem que a motivação fundamental para se dedicarem à Física era o desejo de compreender o mundo, e não o de modificá-lo. As palavras do físico norte-americano de origem húngara, Eugene Wigner (1902-1995), são, sob esse aspecto, exemplares:

As atividades do cientista satisfazem não ao seu desejo de influenciar o mundo em torno dele. (...) Eu acredito que isso é verdade. (...) Sem a ciência moderna, nós não teríamos rádio, televisão ... ou mísseis antibalísticos... tais efeitos são conseqüências das atividades dos cientistas, e não motivações para elas.

### O lugar do físico na sociedade

Wigner permanece na mesma linha de pensamento quando afirma:

... eu acredito que ao menos aqueles cientistas, que são meus contemporâneos, mostram uma autêntica tendência para retirarem-se das batalhas que acontecem na nossa sociedade, mostram [também] uma certa inclinação para o modo monástico de vida: essa é uma característica daqueles que escolheram a ciência como sua vocação.

### Físicos e leigos

Uma das transformações mais importantes que ocorreram na passagem da primeira metade para a segunda do século XX foi que as motivações dos físicos passaram a ser muito semelhantes daquelas presentes entre os leigos. Até então, os físicos percebiam-se como pessoas diferentes não apenas porque detinham um conhecimento técnico, sofisticado e verdadeiro, mas também porque este conhecimento seria alcançado e verificado por critérios apolíticos e epistemologicamente específicos.

Uma vez mais, Wigner é preciso na formulação que apresenta dessa transformação:

Pode ser que eu seja antiquado quando espero que as pessoas escolham uma carreira na ciência sem que alimentem a expectativa de óbvias recompensas externas.... (...) O cientista de hoje em dia é, em sua atitude para com a vida, muito mais semelhante ao não-cientista do que era o cientista de trinta anos atrás.

No entanto, apesar das palavras acima de Wigner, as quais poderiam sugerir que o reconhecimento da semelhança entre cientistas e leigos teria levado os primeiros a abandonarem a sua atitude aristocrática, isso não é corroborado pela percepção que outros físicos têm de si mesmos e dos leigos, apontando para a existência de uma distinção funda-

<sup>2</sup> Niels Bohr (1885 - 1962): físico dinamarquês, que desenvolveu a teoria da natureza do átomo. O prêmio Nobel de Física que ganhou em 1922 deve-se ao seu trabalho sobre estrutura e radiação atômica. Com a idade de 28 anos, Bohr publicou sua teoria que explicava, por meio da Teoria Quântica de Max Planck, os problemas surgidos com a descoberta da radioatividade. No dia 17 de maio de 2005, durante o **Simpósio Internacional Terra Habitável**, foi apresentada a peça **Copenhagen**. A trama do espetáculo remete-se a um misterioso encontro em 1941 entre Niels Bohr e Werner Heisenberg, alemão encarregado do programa nuclear de Hitler. A montagem foi do Núcleo Arte Ciência no Palco, da Cooperativa Paulista de Teatro, com texto de Michael Frayn. Os protagonistas da peça, Carlos Palma (Werner Heisenberg), Oswaldo Mendes (Niels Bohr) e Selma Luchesi (Margarethe Bohr) foram entrevistados na edição 142<sup>a</sup> da **IHU On-Line**, de 23/05/2005. (Nota da **IHU On-Line**)



mental. A educação recebida pelos físicos seria responsável pelo sentimento de diferença que eles sentem quando se comparam com os leigos. O mero reconhecimento da existência de uma diferença entre os dois grupos não seria suficiente para que ambos soubessem como cooperar para a solução dos problemas que afligem a sociedade contemporânea. A especificidade do conhecimento científico tornava os cientistas presença obrigatória nos espaços destinados à elaboração, avaliação e aplicação das soluções imaginadas, tal como, penso eu, pode ser depreendido das palavras de Victor Weisskopf (1908-2002), físico teórico de origem austríaca:

Nós não estamos argumentando que apenas aqueles com treinamento básico na ciência, o que excluiria os outros [isto é, aqueles que não são cientistas], podem resolver os nossos problemas. Longe disso. (...) Eles são necessários, mas não suficientes.

## O objetivo da ciência

Apesar de existir um certo reconhecimento público de que as motivações dos cientistas não difeririam muito daquelas presentes em outros profissionais, alguns físicos continuaram a declarar que o seu objetivo não era a aplicação, mas sim, a compreensão. Weisskopf acreditava na continuidade da crença que atribuía, em primeiro lugar, à especificidade da ciência ao seu objetivo e, em segundo lugar, ao modo pelo qual esse objetivo era efetivamente alcançado. “O principal objetivo da ciência não é a aplicação; é ganhar discernimento sobre as causas e leis que governam os processos naturais.”

Tal caracterização do objetivo da ciência, como é bem conhecido, era importante, pois garantiria a sua neutralidade, uma vez que faria com ela permanesse indiferente e protegida dos interesses humanos. Pode-se dizer que a já mencionada crise de vocação, que atingiu parte dos cientistas, é explicada pela impossibilidade de se continuar a aceitar essa tese.

## Mas, afinal, o que deseja um físico?

A citação de Weisskopf, que continua a sustentar a tese de que a ciência é pura, entra em choque com a declaração de Max Born:

As bombas de Hiroxima e Nagasáqui foram qualificadas como pecado original da livre investigação. Todos compreendem que já não é suficiente que o entendimento humano continue esforçando-se por descobrir, cada vez com mais profundidade, os segredos da natureza, se disso surgem meios de destruição cada vez mais poderosos.

O homem deve utilizar a razão e, acima de tudo, perguntar-se para quê. E, uma vez que apenas o especialista sabe do que se trata, somente ele sabe aquilo que pode ser feito, o efeito que se pode esperar; não se pode deixar que a resposta venha apenas dos políticos, dos homens de estado e, tampouco, dos teólogos, dos historiadores, os quais pensam segundo os métodos rígidos e tradicionais da especulação. **Exigimos ser escutados.** (Os negritos são meus)

As palavras de Born são interessantes, pois defendem a idéia de que os físicos não podem deixar para outros – observe-se que os outros aqui são aqueles que, tradicionalmente, se preocupavam com o sentido – a preocupação com a pergunta “para quê?”. O físico deveria reconhecer que passava por uma crise de vocação; caberia a ele resolver este problema, o qual tem profundas e graves conseqüências para a sociedade. De todo, é fácil perceber que Born acreditava que o físico desfrutava de um lugar especial. Aliás, esse “sentimento” foi compartilhado por quase todos aqueles que pertenciam à sua geração. Até Wigner mostrava-se saudoso de uma época na qual a ciência era vista como algo nobre e superior, mesmo que, talvez, ele tenha se mostrado como um dos mais ferozes críticos à tese da separação entre físicos e leigos. “Nós, que somos generosamente apoiados pela nossa sociedade, deveríamos mostrar um sentido de humildade e gratidão, ao invés de [mostrar] desprezo para com o não-cientista.”

## O que fazer?

Diante das transformações causadas pela Segunda Guerra Mundial no que diz respeito ao lugar do cientista na sociedade, à imagem que esta última formula da ciência, aos problemas que muitos dos resultados (teóricos e aplicados) da ciência provocam, como resolver as questões não-científicas que preocupam os cientistas? Em geral, os físicos pensavam ser necessário modificar o seu comportamento, principalmente acerca do seu relacionamento com a sociedade, mas não a ponto de perderem o lugar

especial que ocupavam, uma vez que isso poderia, por exemplo, implicar a perda, ou a diminuição, dos recursos financeiros destinados à ciência. Por outro lado, os valores antigos, aos quais se recorreu durante um longo período para justificar a ciência, eram vistos como sofrendo um processo de desgaste irreversível, como afirma Weisskopf: “Este é um fenômeno novo e perturbador para a espécie humana: as experiências da geração mais antiga não são mais úteis como um dia o foram na lida com os problemas atuais.”

No entanto, não é fácil defender o abandono da relevância e da utilidade da tradição, dado que esta última é uma das fontes que temos à nossa disposição para formularmos repostas para o “para quê?”. Em outros termos, muito daquilo que compreendemos como sentido é herdado por meio das tradições que nos constituem. Todavia, não creio que Weisskopf estivesse defendendo, pura e simplesmente, o desaparecimento da tradição. Sua posição parece ser a de mostrar que as tradições têm limites sérios.

Quanto a mim, a declaração de Weisskopf aponta para o reconhecimento de um limite heurístico da tradição. Se isso for correto, os novos problemas exigiriam criatividade para poderem ser resolvidos. Apesar de os físicos terem tentado encontrar tais soluções, as quais pressupunham a manutenção e o fortalecimento do diálogo entre grupos que defendiam visões distintas, eles não conseguiram implementar, ao menos no grau em que desejavam, as suas posições. Todo o impressionante desenvolvimento da Física no século XX não foi suficiente para mostrar a importância de os seres valorizarem a diferença, como constatado em 2000 pelo físico norte-americano de origem húngara, Edward Teller (1908-2003):

Ao final de 2000, ele [Teller] e um de nós [Michael May] estávamos esperando por uma cerimônia fúnebre em homenagem a um colega de muito tempo. Enquanto aguardávamos pelo início da cerimônia, ele me perguntou quais seriam, para mim, as três mais importantes conquistas do século XX. Seus candidatos eram a habilidade de rapidamente ir de um lugar para outro, a de se comunicar, à velocidade da luz, com praticamente toda e qualquer pessoa e a de destruir eficientemente todos nós. Ele, então, me disse qual seria a coisa mais importante a ser conseguida no novo século. Isso seria, ele afirmou, aprender a conviver um com o outro.

Antônio Augusto Passos Videira<sup>3</sup>

## Referências bibliográficas

- BOLTZMANN, Ludwig. *Escritos Populares*. Organização. Traduzido por Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004.
- BORN, Max. La física en la problemática de nuestra época. In: *La responsabilidad del científico*. Barcelona: Labor, 1968. p. 83-93.
- \_\_\_\_\_. Física e Política. In: *La responsabilidad del científico*. Barcelona: Labor, 1968. p. 103-16.
- \_\_\_\_\_. Esperanza de que todos los hombres comprendan las consecuencias del armamento atómico. In: *La responsabilidad del científico*. Barcelona: Labor, 1968. p. 137-46.
- BROWN, Harold; MICHAEL, May. Edward Teller in the Public Arena. *Physics Today*, p. 51-3, ago.2004.
- HOBSBAWN, Eric. *Era dos Extremos: O breve século XX (1914-1991)*.
- WEISSKOPF, Victor. Man and Nature. In: *Physics in the 20th Century (Selected Essays)*. Cambridge: MIT Press, 1972.
- \_\_\_\_\_. Science and Ethics. In: *Physics in the 20th Century (Selected Essays)*. Cambridge: MIT Press, 1972.
- \_\_\_\_\_. The Significance of Science. In: *Physics in the 20th Century (Selected Essays)*. Cambridge: MIT Press, 1972.
- WIGNER, Eugene P. The Scientist and Society. In: *From a life of physics, Evening lectures at the International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy*. A special supplement of the IAEA Bulletin, Printed by the IAEA in Áustria, s.d., p. 49-56.

<sup>3</sup> Antonio Augusto Passos Videira é professor do Departamento de Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), coordenador do grupo de trabalho em Filosofia da Ciência da Associação Nacional de Pós-Graduação em Filosofia (Anpof) e secretário adjunto da Anpof e secretário da Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC). Videira é doutor em Filosofia pela Université de Paris VII e fez pós-doutorado nas Universidades de Évora, em Portugal, na Unicamp, na Universidade Federal da Bahia e na Universidade Federal de Santa Maria. Publicou vários artigos em revistas nacionais e estrangeiras e o livro *Henrique Morize e o ideal de ciência pura na República Velha*. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2003. Além disso, organizou várias obras, entre as quais citamos: *Einstein e o Brasil*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1995; *O que é vida? Para entender a biologia do século XXI*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000; *Temas de Filosofia da Natureza*. Rio de Janeiro: UERJ, 2004.

## Física Quântica: Da sua pré-história à discussão sobre o seu conteúdo essencial

*Por Paulo Henrique Dionísio*

*Paulo Henrique Dionísio é doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).*

### **Introdução**

A Física Quântica desperta, em muitas pessoas, interesses variados. Nascida com o século XX, bastaram algumas décadas para que influenciasse, decisivamente, a vida de todos nós, pois deu sustentação teórica à estonteante revolução tecnológica, ocorrida, principalmente, a partir dos anos 1950. Concomitantemente, exigiu dos físicos profundas alterações em sua maneira de descrever os fenômenos naturais, em sua forma de compreender e explicar a natureza. Na verdade, não houve consenso. Ficaram famosas as discussões entre Einstein e Niels Bohr, centradas, principalmente, na questão do caráter probabilístico da nova teoria em oposição ao determinismo da Física Clássica e na interpretação de alguns aspectos do formalismo matemático utilizado. E as discussões perduram, apesar da sofisticação dos novos

experimentos que o próprio desenvolvimento tecnológico viabiliza, realizados com o fim específico de tentar elucidar as questões pendentes. Dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, gato de Schrödinger<sup>4</sup>, colapso da função de onda, ação da consciência do observador sobre o estado do sistema... Expressões como essas respingam no leigo em Física, que fica entre curioso e perplexo, às vezes, esperançoso, no mais das vezes, indiferente. Mas afinal, o que é mesmo a Física Quântica?

Em uma tentativa de interpretar os novos paradigmas nascidos com a Física Quântica, Niels Bohr formulou o seu “princípio da complementaridade”, segundo o qual os sistemas quânticos podem se apresentar sob dois aspectos aparentemente incompatíveis e mutuamente exclusivos. Quando um dos aspectos é aparente, o outro fica oculto e vice-versa, como uma moeda que nos volta apenas uma face de cada vez. Em um (nada aconselhável, advirto!) exercício de generalização, há quem proponha pares de conceitos complementares (conceitos que não podem ser esclarecidos simultaneamente) ou de condições complementares

---

<sup>4</sup> Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961): físico austríaco, um dos pais da Teoria Quântica. O “gato quântico” de Schrödinger é uma experiência imaginária na qual “o gato imaginário do físico (um objeto macroscópico) é fechado numa caixa, contendo um recipiente de cianureto e um átomo radioativo (objeto microscópico). O átomo está em estado metaestável, ou seja, seu núcleo tem 50% de chance de romper-se. Se isso acontecer, o recipiente quebra, o cianureto é liberado e o gato morre. Se ele continuar no estado metaestável, o recipiente não racha, e o gato continua vivo. O estado quântico é uma superposição dessas duas possibilidades. Enquanto a caixa não for aberta, o gato está vivo e morto (o que é diferente de estar vivo ou morto, que seria a explicação da Física Clássica). Só ao abrir a caixa, define-se a potencialidade de um dos resultados. É o ato de mensuração que resolve as potencialidades quânticas.” (Nota do **IHU On-Line**, extraída do artigo *Estudo concilia “vida” e “morte” de partícula*, escrito por Alexandra Ozorio de Almeida, publicado no jornal **Folha de S. Paulo**, em 29-10-2000, reproduzido em <http://www.nuclear.radiologia.nom.br/politica/outubr00/291000.htm#6>. O professor Paulo Henrique Dionísio aborda esse tema no **Cadernos IHU Idéias** n. 22. Ele trata de Schrödinger nas páginas 18-23 (Nota da **IHU On-Line**).

(condições que não podem ser satisfeitas simultaneamente). Certa vez, em uma entrevista, alguém perguntou a Bohr<sup>5</sup>: “O que é complementar à verdade?” Ao que ele respondeu: “A clareza.”

Este texto é uma tentativa de desmentir o princípio da complementaridade, ao menos no que diz respeito ao par verdade x clareza. O autor pretende ser “verdadeiro”, ao responder a questão o que é a física quântica, fazendo-o de maneira fidedigna, precisa e clara. Esforça-se, ao mesmo tempo, por ser acessível aos não-físicos e manter-se adequado ao ambiente acadêmico. Para tanto, será necessário falarmos não apenas “sobre” a Física, mas também “de” Física. Trata-se, sem dúvida, de um propósito ambicioso. Seu eventual sucesso será creditado, principalmente à disposição e ao empenho de quem lê.

E, ao falar de Física, não se poderá evitar o uso de alguns recursos de linguagem que são próprios a essa disciplina, como a representação de situações por meio de figuras, a referência a grandezas físicas por meio de símbolos e algumas equações. Isso se fará, na medida do possível, de maneira acessível a quem não está habituado a esta linguagem. Afinal, vencer o aparente obstáculo, representado por uma linguagem a que não se está habituado, é um desafio intelectual frequentemente enfrentado na vida acadêmica. Saltar alguns trechos mais técnicos talvez não prejudique de todo o entendimento do que vem depois. Podemos, também, tentar ler de trás para diante, seção por seção, a partir da conclusão. O resultado pode ser surpreendente!

## 1. A Física ao final do Século XIX e os germens da transformação

Por volta de 1880, a Física alcançou um estágio de desenvolvimento que parecia não apenas difícil, mas até mesmo desnecessário superar. Os

trabalhos de Maxwell sobre os campos eletromagnéticos vieram completar o arcabouço teórico que se iniciara com a mecânica de Newton e que parecia, agora, capaz de abarcar a totalidade dos fenômenos físicos. Aos físicos, restava, então, medir, com maior precisão, os valores das constantes físicas fundamentais e trabalhar na implementação de aplicações para tantos conhecimentos acumulados. Havia, é verdade, uma pequena inconsistência teórica a ser resolvida e alguns poucos fenômenos ainda não satisfatoriamente equacionados, mas tudo parecia ser apenas uma questão de tempo.

A pequena inconsistência teórica era a assim chamada não-invariância das equações de Maxwell; sua solução resultou, nada mais nada menos, do que no surgimento da Teoria da Relatividade<sup>6</sup>, uma verdadeira mudança de paradigma na Física. Já os fenômenos não satisfatoriamente explicados eram a radiação de cavidade, os espectros de raios e o efeito fotoelétrico, aos quais, mais tarde, vieram juntar-se as descobertas com tubos de raios catódicos e a radioatividade. O enquadramento teórico desses fenômenos implicou outra revolução conceitual, que resultou na Física Quântica. Assim surgiram a Teoria da Relatividade e a Física Quântica, os dois pilares da física contemporânea.

## 2. A radiação de cavidade

Foi o estudo da chamada radiação de cavidade que desencadeou o processo de desenvolvimento da Física Quântica. Sabemos, há muito tempo, que um objeto suficientemente aquecido irradia luz, torna-se incandescente (por exemplo, um ferro em brasa na forja do ferreiro ou o filamento de uma lâmpada incandescente). Sabemos também que a coloração da luminosidade irradiada depende da temperatura: à medida que o obje-

<sup>5</sup> Conforme PIZA, A. F. R. de Toledo. Schrödinger, Emaranhado e Decoerência. In: HUSSEIN, Mahir; SALINAS Sílvio (org.). *100 anos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2001, p.14.

<sup>6</sup> A Teoria da Relatividade, que reformulou a concepção da gravidade, foi criada por Albert Einstein. Ela foi abordada nas revistas *IHU On-Line*, n. 130, de 28 fev. 2005, que recebeu o título *Einstein: 100 anos depois do Annus Mirabilis*. João Paulo II. *Balanço e perspectivas*, dedicado a Einstein, e n. 141, de 16 de maio de 2005, que levou o título *Terra habitável: um desafio para a humanidade*. (Nota da *IHU On-Line*)

to esquentando, sua cor passa de um vermelho fosco a um vermelho vivo, a um alaranjado, depois amarelo, branco e, finalmente, azulado. Estudando em detalhe este fenômeno, verificou-se que a coloração não depende do material, tamanho ou formato do objeto, mas apenas da temperatura em que ele se encontra. Os físicos, no entanto, preferiram estudar a luz emitida por uma cavidade feita no objeto, e não por suas paredes externas, daí o nome “radiação de cavidade”. Este mesmo fenômeno é também conhecido como “radiação de corpo negro”, por razões que não cabe aqui esclarecer.

Em termos técnicos, é mais adequado caracterizar a luz emitida por um objeto aquecido, especificando-se não a sua cor, mas a frequência das ondas luminosas. Dizemos que um objeto ostenta um brilho alaranjado, por exemplo, é uma afirmação vaga e subjetiva. Os físicos, mediante o uso de equipamentos adequados e muita dedicação, podem oferecer uma descrição muito mais precisa, objetiva e abrangente. A luz emitida pelo objeto é apenas uma pequena porção da energia por ele irradiada na forma de ondas eletromagnéticas, correspondente a uma pequena gama de valores de frequências. Além da radiação eletromagnética que vemos, e à qual denominamos “luz”, o objeto (ou a cavidade feita nele) emite também ondas eletromagnéticas de outras frequências, que se estendem em um *continuum* desde valores muito pequenos até valores muito grandes. As ondas de frequência numa faixa imediatamente inferior à da luz constituem a chamada radiação infravermelha, ou ondas de calor; as de frequência numa faixa imediatamente superior são a chamada radiação ultravioleta. A caracterização do fenômeno completou-se de maneira satisfatória, do ponto de vista experimental, mediante a determinação precisa da quantidade de energia eletromagnética emitida em cada frequência, de tal modo que os resultados puderam ser representados em um gráfico e descritos por meio de uma relação matemática. Em outras palavras, obteve-se uma “fórmula empírica” (isto é, obtida da experiência), que permite calcular a quantidade de energia emitida a uma dada frequência por uma cavidade em um objeto aquecido a uma dada temperatura.

A descrição detalhada do fenômeno encontrou logo uma importante aplicação tecnológica. Com base nela, desenvolveu-se o “pirômetro ótico”, um instrumento que permite medir à distância a temperatura de um objeto, como, por exemplo, o interior de um forno em uma siderúrgica ou uma estrela. Mas, para a Física, isso não basta. Precisamos compreender o fenômeno, descrever seus mecanismos, explicar seus princípios gerais, enquadrá-lo em uma teoria o mais abrangente possível.

A tentativa de enquadramento teórico do fenômeno incluía considerar-se a existência de radiadores elementares nas paredes da cavidade, que seriam sistemas oscilantes dotados de carga elétrica. De acordo com a Teoria Eletromagnética, tais osciladores com carga elétrica, uma vez agitados termicamente, devido ao aquecimento do objeto, seriam emissores de radiação, mas poderiam também absorver radiação que, porventura, sobre eles incidisse, estabelecendo-se, então, um equilíbrio entre emissão e absorção dentro da cavidade. Os cálculos baseados em tal modelo teórico, no entanto, não conseguiam reproduzir os resultados experimentais, uma vez que previam a emissão de uma quantidade infinita de energia nas frequências mais altas, o que, evidentemente, não podia corresponder à realidade. Como esta discrepância ocorria na faixa do espectro eletromagnético denominada de “região ultravioleta”, convencionou-se chamar esta embaraçosa dificuldade de “catástrofe do ultravioleta”.

### 3. A solução proposta por Planck

Em dezembro de 1900, Max Planck ofereceu ao mundo uma solução para a catástrofe do ultravioleta. Era o nascimento oficial da Física Quântica. A solução, no entanto, era ainda mais embaraçosa do que a dificuldade que viera superar.

A solução proposta por Planck consistia em estabelecer uma séria limitação ao movimento dos osciladores elementares. Segundo ele, um oscilador não poderia vibrar com qualquer energia, mas apenas com algumas poucas energias permitidas, cujos valores seriam múltiplos inteiros de

um valor mínimo fundamental, denominado o *quantum* de energia do oscilador. Este mínimo fundamental seria determinado pela frequência natural de oscilação do oscilador. Em linguagem matemática, se a letra **f** representa a frequência do oscilador (ou seja, o número de oscilações que realiza por segundo), o *quantum* de energia valerá **hxf** (ou simplesmente **hf**), onde **h** é um número, uma constante universal, denominada “constante de Planck”. Tomando-se a letra **n** para representar um número inteiro qualquer (**n** pode assumir valores como 0, 1, 2, 3 etc.), a proposta de Planck estabelece que os osciladores elementares só podem vibrar com energias tais que:

$$E = nxhf \text{ (ou, simplesmente, } E = nhf) \text{ (equação 1).}$$

Resumindo, um oscilador elementar cuja frequência natural de oscilação seja **f** somente poderá oscilar com energias **zero**, **1xhf**, **2xhf**, **3xhf** e assim por diante. Em linguagem matemática, Planck “postulou”<sup>7</sup> que a energia dos osciladores é uma variável “discreta”. Na Matemática, a palavra “discreta” é um antônimo para “contínua”. Ou, como passou a dizer-se, então, a energia dos osciladores é uma grandeza “quantizada”. Refazendo os cálculos, agora submetendo os osciladores elementares a esta restrição, Planck deduziu, com base em princípios teóricos, a mesma fórmula empírica extraída dos dados experimentais. A isso os físicos chamam de “explicar o fenômeno”.

A seguir, utilizando-nos de um exemplo simples, tentaremos esclarecer o significado desta proposta e a razão dos embaraços que criou.

#### 4. O movimento de um pêndulo segundo Planck

“Pêndulo” é a denominação genérica para sistemas constituídos por um objeto suspenso que oscila sob a ação da gravidade. Por exemplo, o fio de prumo de um pedreiro ou um balanço em um parque infantil.

A figura 1 mostra um pêndulo oscilando até uma altura **A** acima da posição inferior de sua trajetória. Por conveniência, chamaremos a altura **A** de “amplitude de oscilação”. Designaremos a massa do objeto suspenso por **M**, o comprimento do fio por **C** e a frequência de oscilação por **f**.

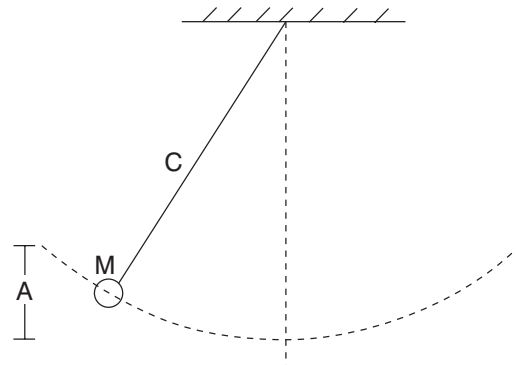


Figura 1 – Um pêndulo de massa **M** e comprimento **C**, oscilando até uma altura **A**.

Quem já andou de balanço sabe que, quanto mais longas as cordas que o suspendem, mais lentas e suaves são as suas oscilações, ou seja, menor é a sua frequência. Se o comprimento do pêndulo for medido em metros e a frequência, em oscilações por segundo, esta afirmativa pode ser traduzida na relação matemática

$$f = 1 / \sqrt{2C} \text{ (equação 2).}$$

Em geral, a frequência é menor do que um. Por exemplo, se **f** = 1/2, significa que o pêndulo realiza meia oscilação em um segundo, ou seja, leva dois segundos para realizar uma oscilação completa.

Já a amplitude de oscilação **A** (“altura”) depende da energia **E** que se fornece ao pêndulo para oscilar e do peso **P** do objeto suspenso. Quanto maior a energia, maior a altura; quanto maior o peso, menor a altura:

$$A = E/P \text{ (equação 3).}$$

O movimento de um pêndulo é perfeitamente compreendido no contexto da Física Clássica, e

<sup>7</sup> Segundo o dicionário Houaiss, um postulado é “o que se considera como fato reconhecido e ponto de partida, implícito ou explícito, de uma argumentação; premissa”. Ou ainda, “afirmação ou fato admitido sem necessidade de demonstração”.

as relações acima podem ser deduzidas das leis de Newton. Vejamos, no entanto, a consequência de admitirmos como correta a hipótese de Planck sobre a quantização da energia. Submetendo-se a energia de oscilação **E** à condição de ser quantizada, a amplitude de oscilação **A** também o será, pois uma depende da outra, conforme mostra a equação 3. Substituindo-se, na equação 3, a condição de quantização de Planck  $E = nhf$  (equação 1), obtemos:

$$A = \frac{E}{P} = \frac{nhf}{P} = n \times \frac{hf}{P} \quad (\text{equação 4}).$$

A equação 4 mostra que existe um *quantum* de amplitude de oscilação  $hf/P$ , de modo que a amplitude de oscilação **A** do pêndulo somente poderá assumir valores que sejam múltiplos inteiros dele.

Em termos práticos, se alguém for embalar uma criança em um balanço cujo *quantum* de amplitude seja, por exemplo, 30 cm, deverá ajustar o impulso dado para que a altura atingida seja exatamente ou 30 cm, ou 60 cm, ou 90 cm, ou 120 cm e assim por diante. Se tentar imprimir ao balanço uma oscilação a uma altura proibida, (100 cm, por exemplo), o balanço “simplesmente se recusará a mover-se” e a pessoa receberá seu impulso de volta, sendo jogada para trás. Ora, nenhum balanço, nem o pêndulo de um relógio, nem qualquer oscilador físico que conheçamos funciona assim. Como, então, aceitar a hipótese de Planck, segundo a qual os osciladores elementares nas paredes da cavidade funcionariam assim?

Planck inaugurou uma era de perplexidade no mundo da Física. Por um lado, logrou construir uma teoria capaz de explicar, em todos os detalhes, o fenômeno que se propunha, capaz de descrever adequadamente o comportamento do sistema físico em estudo. Mas, por outro lado, deixou-nos na embaraçosa situação de termos que aceitar como verdadeira uma hipótese inteiramente contrária aos fatos, ao senso comum e à própria Física Clássica. Nas palavras do próprio Planck, “tratou-se

de uma hipótese puramente formal, e não refleti muito sobre ela, mas apenas sobre o fato de que, sob quaisquer circunstâncias, custasse o que custasse, um resultado positivo tinha de ser obtido”<sup>8</sup>. A partir deste primeiro episódio um tanto acachapante, outros semelhantes seguiram-se, envolvendo outros fenômenos e outros pesquisadores. A Física Quântica avançou, tornou-se uma teoria consistente e abrangente, ofereceu uma descrição adequada dos fenômenos em escala atômica e subatômica, o que pode ser comprovado pelo sucesso da tecnologia à qual deu sustentação. A cada passo, porém, constrangeu os físicos a admitirem mais uma hipótese aparentemente absurda, contrária ao senso comum e, principalmente, incompatível com a já consagrada Física Clássica.

## 5. Uma digressão sobre números pequenos

Antes de prosseguirmos no relato dos episódios que se seguiram ao feito de Planck, é forçoso aprofundar um pouco a discussão a respeito da contradição entre a sua maneira de descrever a dinâmica dos osciladores físicos e a descrição contida na mecânica newtoniana. Para tanto, devemos levar em conta o valor da constante de Planck **h**, valor por ele obtido mediante o simples ajuste numérico entre o seu cálculo teórico e os dados experimentais. A constante de Planck vale

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s} \quad (\text{equação 5}),$$

onde **s** é o símbolo para segundo, nossa conhecida unidade de medida de tempo, e **J** é o símbolo para joule, uma unidade de medida de energia.

A presença do fator  $10^{-34}$  indica que o valor numérico de **h** é extremamente pequeno. Tendo em vista a provável pouca familiaridade de alguns leitores com este tipo de notação, procuraremos esclarecer o seu significado por meio de um exemplo, qual seja, o das unidades de medida de comprimento.

<sup>8</sup> Conforme FLEMING, Henrique. Max Planck e a Idéia do Quantum de Energia. In: HUSSEIN, Mahir; SALINAS, Sílvio (org.). *100 anos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2001, p.10.

Um milímetro vale um milésimo de um metro, isto é, o milímetro é obtido dividindo-se o metro em mil partes. Em linguagem matemática, escrevemos que 1 mm vale 0,001 m. Mas, dividir por mil é o mesmo que dividir três vezes sucessivas por dez. Esta última afirmativa é mais bem expressa em linguagem matemática pelo enunciado “1 mm vale  $10^{-3}$  m”. Nesta notação, o sinal – no expoente da base 10 indica divisão por dez e o número 3 indica três divisões sucessivas. Essa maneira de escrever é geralmente referida como “notação científica”. Costumamos, também, dizer que o milímetro é três “ordens de grandeza” menor do que o metro. Para ter uma idéia do que significa isso na prática, tome uma trena e compare uma divisão de um milímetro com o comprimento de um metro. Assim, se quisermos, por exemplo, expressar o comprimento de 5 milímetros em metros, podemos escrever

$$5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m} \quad \text{ou} \quad 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

Um metro é um milésimo de um quilômetro, ou seja, para obtermos um metro a partir de um quilômetro, devemos dividir este por mil, ou três vezes sucessivas por dez. Então, para obtermos um milímetro a partir de um quilômetro, este deverá ser dividido primeiro por mil para obtermos um metro e, em seguida, novamente por mil para obtermos o milímetro. Um milímetro é, então, seis ordens de grandeza menor do que um quilômetro, e isso é o mesmo que dizer que um milímetro é a milionésima parte de um quilômetro. Assim, por exemplo,

$$5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m} = 0,000 \text{ 005 km}$$

ou

$$5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m} = 5 \times 10^{-6} \text{ km}.$$

Observe que a notação científica economiza zeros e espaço.

A espessura de uma folha de papel é cerca de 10 microns. Um micron (símbolo:  $\square$ ) é a milésima parte de um milímetro. Então, se quisermos expressar a espessura de uma folha de papel em quilômetros, teremos  $10\square = 0,000 \text{ 000 01 km}$  ou  $10\square = 10^{-8} \text{ km}$ . Já o raio de um átomo vale justamente cerca de  $10^{-8}$  centímetros. Ou seja, a proporção entre o tamanho de um átomo e um centí-

metro é a mesma que entre a espessura de uma folha de papel e um quilômetro. O raio do núcleo é da ordem de  $10^{-15}$  metros: quinze ordens de grandeza separam nosso mundo do mundo subatômico! Hoje, podemos “ver” um átomo por meio de um microscópio eletrônico de tunelamento (outra conquista da Física Quântica), mas não existe instrumento que permita igual façanha no que diz respeito ao núcleo.

## 6. O pêndulo segundo Planck × o pêndulo segundo Newton

A constante de Planck, cujo valor foi apresentado antes, é expressa em termos das grandezas físicas energia e tempo, sendo a energia medida em joules (símbolo: **J**) e o tempo medido em segundos (símbolo: **s**). Uma duração de um segundo é fácil de estimar; esclareçamos, então, o que representa uma energia de um joule:

*um joule é a energia necessária para elevar-se um objeto de 100 gramas a um metro do solo.*

Na constante de Planck, aparece o fator  $10^{-34}$ . Vamos distribuir arbitrariamente essas trinta e quatro ordens de grandeza igualmente entre a energia e o tempo, de modo a concluir que, grosso modo, a constante de Planck refere-se a fenômenos cuja duração é da ordem de  $10^{-17}$  segundos e envolvem energias da ordem de  $10^{-17}$  joules. Ou seja, refere-se a fenômenos de duração dezessete ordens de grandeza menor do que um segundo, envolvendo energias dezessete ordens de grandeza menor do que a energia gasta por alguém para apanhar um objeto de cem gramas do solo e depositá-lo sobre uma mesa. Lembremos que o núcleo atômico é quinze ordens de grandeza menor do que um metro. Logo, mesmo sendo verdadeira a hipótese de Planck sobre a quantização dos osciladores físicos, ela não deve afetar significativamente os sistemas macroscópicos, cujas dimensões são aquelas a que estamos habituados.

Um exemplo prático esclarecerá a última afirmação acima. Seja um pêndulo feito com um objeto de 100 gramas suspenso por um fio de 8m, oscilando até a altura de 1m. A energia envolvida



na oscilação é exatamente um joule, conforme a definição de joule apresentada acima. A frequência, calculada pela equação 2, vale um quarto de oscilação por segundo, o que vale dizer que o pêndulo leva quatro segundos para realizar uma oscilação completa. O *quantum* de amplitude de oscilação, calculado pela equação 4, resulta igual a  $1,66 \cdot 10^{-34}$  m. Isso é dezenove ordens de grandeza menor do que um núcleo atômico, que, por sua vez, é quinze ordens de grandeza menor do que um metro. Ora, se não nos é possível ver o núcleo, com mais razão ainda não poderemos perceber variações dessa ordem de grandeza na amplitude de oscilação do pêndulo, seja qual for o meio de observação ou instrumento de medida de que possamos dispor. Isso equivale a dizer que, para fins práticos, o discreto confunde-se com o contínuo e tanto faz considerar-se a amplitude de oscilação do pêndulo uma grandeza contínua à maneira de Newton ou quantizada à maneira de Planck.

Mas, quando voltamos nossa atenção para o mundo microscópico<sup>9</sup>, a situação é outra. Por exemplo, a energia envolvida na interação de um elétron com um núcleo atômico é da ordem de  $10^{-19}$  J e os seus *quanta*, ou seja, o valor das variações que lhe são permitidas, são desta mesma ordem de grandeza. Então, quando se acresce ou subtrai um único *quantum* à energia do sistema, ela varia apreciavelmente, de modo que seu caráter quântico fica evidente (veja o funcionamento de um pêndulo cujo *quantum* de energia é comparável à sua energia total no segundo parágrafo abaixo da equação 4). Em outras palavras, os efeitos quânticos dominam o comportamento do sistema. Como veremos adiante, esta foi a explicação encontrada por Niels Bohr para os chamados espectros de raias, mencionados anteriormente como um dos fenômenos não passíveis de entendimento no contexto da Física Clássica.

Os exemplos acima mostram que a descrição quântica é adequada tanto ao mundo macroscópico quanto ao mundo microscópico. Mas, no que diz respeito ao comportamento dinâmico dos sistemas com os quais interagimos no dia-a-dia, po-

demos dispensá-la, uma vez que os detalhes que fornece não são de interesse prático. Aliás, a Física Clássica aplica-se aí satisfatoriamente, inclusive com algumas vantagens, uma das quais é a simplicidade. O contrário, no entanto, não é verdadeiro: a descrição clássica não corresponde ao comportamento do mundo microscópico. Assim, a Física Quântica, por abranger a Física Clássica e ir além dela, é considerada mais adequada, mais completa, mais “verdadeira”.

Mas devemos reconhecer que a aceitação da hipótese de Planck implica uma mudança fundamental em nossa concepção acerca da natureza dos sistemas físicos. A situação é análoga à ocorrida, quando da aceitação das hipóteses sobre a constituição atômica da matéria. Antes, quando servíamos vinho em um copo, por exemplo, víamos um fluido contínuo, rubiáceo e apetitoso, jorrando da garrafa. Hoje, vemos a mesma coisa e depois saboreamos com igual prazer, mas “sabemos” que se trata de uma cascata de partículas ínfimas, aliás bem separadas entre si, às quais chamamos “moléculas”. Da mesma maneira, quando observamos um balanço que vai parando, por mais que pareça fazê-lo de maneira contínua e suave, “sabemos” que vai perdendo “impulso” “aos trancos”, embora isso em nada altere o conforto e o prazer de quem está sentado nele... Na verdade, essas novas concepções não alteram diretamente nossas relações com o mundo que nos rodeia, pois dizem respeito a fenômenos que ocorrem em uma escala extremamente pequena, inatingível por nossos sentidos, ausente de nossa experiência. Eis aí uma circunstância à qual deveriam estar atentos alguns que propõem a pura e simples transposição dos conceitos da Física Quântica para o nosso mundo habitual, sugerindo aplicações imediatas na Medicina, na Psicologia, na Economia, no Direito... É claro que não estamos nos referindo à enorme transformação ocorrida em nossas vidas devido ao impacto tecnológico decorrente, em última análise, do domínio do mundo microscópico, proporcionado ao homem por essa nova Física. Mas isso já é outro assunto.

<sup>9</sup> Micro em oposição a macro. Neste texto, usaremos a expressão “mundo microscópico” para designar o mundo das moléculas, dos átomos, das partículas elementares.

## 7. Einstein e os fótons

Em 1905, em seu chamado “ano miraculoso”, em um dos cinco artigos que publicou nos *Annalen der Physik*, Einstein propôs uma idéia revolucionária: a quantização do campo eletromagnético. De acordo com a Eletrodinâmica Clássica de Maxwell, uma onda eletromagnética é contínua no tempo e no espaço e sua intensidade é determinada pela amplitude do seu campo elétrico. Em seu artigo, contudo, Einstein escreveu<sup>10</sup>:

De acordo com a hipótese aqui considerada, na propagação de um raio de luz emitido por uma fonte pontiforme, a energia não é distribuída sobre volumes cada vez maiores no espaço, mas consiste em um número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço, que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados somente como unidades integrais.

Ora, “um *quantum* de energia localizado em um ponto do espaço, que se move sem se dividir e que somente pode ser absorvido ou gerado como uma unidade integral” corresponde muito mais ao conceito de uma partícula em movimento do que ao de uma onda que se propaga. Tais “partículas de luz” foram chamadas de “fótons”. Einstein estabeleceu que a energia de um fóton vale o produto da constante de Planck pela frequência da radiação:  $E = h \cdot f$ . Apesar da semelhança formal, as hipóteses de Planck e de Einstein são essencialmente diferentes. Planck propôs a quantização de uma “grandeza” associada a um sistema físico (a energia de oscilação do oscilador); já o *quantum* de Einstein é, ele próprio, “um ente físico”.

Nesse mesmo artigo, Einstein usou sua hipótese para explicar, entre outros fenômenos, o efeito fotoelétrico, então razoavelmente caracterizado do ponto de vista experimental, mas carente de uma interpretação satisfatória no contexto da Eletrodinâmica Clássica. Tal explicação foi uma das razões pelas quais ganhou o Prêmio Nobel em 1921.

Eis-nos diante de outra situação contraditória. A natureza da luz fora objeto de disputa por séculos. Experimentos realizados a partir de 1800,

no entanto, deixaram inequívoco o seu caráter ondulatório, por apresentar efeitos de difração e de interferência, tal como as ondas sonoras no ar ou ondas na superfície da água. Newton considerava a luz como feita de partículas; para explicar a refração, precisava supor que sua velocidade fosse maior nos meios mais densos. Contudo, medidas precisas mostraram que a velocidade da luz na água é menor do que no ar, o que invalidou a concepção newtoniana. Finalmente, na grande síntese de Maxwell, a natureza da luz ficou inteiramente esclarecida, pois foi ela descrita como uma onda eletromagnética. Esse foi justamente um dos momentos culminantes da Eletrodinâmica Clássica. Deveria ser tudo isso agora abandonado em favor, novamente, de uma teoria corpuscular para a luz?

Aqui, a situação era um pouco mais favorável à Física Clássica do que no caso dos osciladores físicos, pois a teoria ondulatória da luz não poderia ser simplesmente englobada pela nova teoria corpuscular. Quando estavam em jogo fenômenos relacionados com a geração ou a absorção da luz pela matéria, a visão quântica se fazia indispensável. Mas quando se tratava de descrever os mecanismos de propagação da luz, era necessário considerá-la uma onda. Era, então, necessário conservar as duas concepções, por mais contraditórias que parecessem. Esta maneira ambígua de a luz apresentar-se aos olhos dos físicos foi o que se chamou de “dualidade onda partícula”.

## 8. O átomo de Rutherford

Enquanto Planck e Einstein explicavam as inusitadas características da radiação de cavidade e do efeito fotoelétrico, a Física Experimental continuava a desnudar aos olhos humanos o mundo microscópico. As pesquisas com tubos de raios catódicos levaram a descobertas, como a existência dos raios-X e dos elétrons. Os raios-X foram caracterizados como ondas eletromagnéticas de alta frequência, os elétrons como partículas dotadas de carga elétrica negativa e de dimensões e massa

<sup>10</sup> STACHEL, John (organização e introdução). *O ano miraculoso de Einstein*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. p. 202.

infinitesimais. A radioatividade foi descoberta, e a hipótese sobre a constituição atômica da matéria ganhou solidez.

Por volta de 1910, Rutherford e seus colaboradores realizaram experiências com o fim de elucidar a estrutura do átomo. Tais experiências consistiam em bombardear finíssimas lâminas de ouro com as recém-descobertas partículas alfa. Esperavam ver as partículas alfa ricocheteando após se chocarem contra a compacta barreira metálica. O que viram, no entanto, foi surpreendente: a maior parte das partículas simplesmente atravessava a lâmina, sofrendo pequenos desvios, raríssimas eram refletidas de volta. Cuidadosa análise dos dados permitiu concluir que se deveria considerar a carga positiva do átomo de ouro como confinada em uma diminuta região do espaço, onde também se concentraria a sua massa, sendo a maior parte do volume do material ocupada pelos elétrons, de massa infinitamente menor, incapazes de impedir a passagem das “pesadas” partículas alfa. Ou seja, o metal, aparentemente sólido e compacto, seria, na verdade, vazio e transparente como uma peneira!

Rutherford propôs, então, o modelo planetário do átomo: no centro, um núcleo dotado de carga elétrica positiva, contendo quase toda a massa atômica; girando em torno dele, os levíssimos elétrons. Um modelo atraente por sua semelhança com o sistema solar, com a única diferença de que, neste, a força que mantém os planetas ligados ao Sol é de natureza gravitacional, enquanto naquele, os elétrons são atraídos ao núcleo por uma força de natureza elétrica.

Havia, porém, uma dificuldade: estávamos, novamente, diante de uma proposta incompatível com a Física Clássica. Segundo a Eletrodinâmica Clássica, os elétrons em translação em torno do núcleo, por serem dotados de carga elétrica, irradiariam continuamente ondas eletromagnéticas, perdendo energia e “impulso”, até finalmente caírem sobre o núcleo. Em outras palavras, o átomo de Rutherford não poderia existir como uma estrutura estável. Uma instabilidade deste tipo evidentemente não afeta os planetas em torno do Sol nem os satélites artificiais em torno da Terra, pois esses não são objetos eletrizados. Mas foi algo pa-

recido que ocorreu com as estações espaciais Skylab e Mir: enquanto percorriam suas órbitas em torno da Terra, perdiam, progressivamente, energia devido ao atrito com as camadas superiores da atmosfera. Não havendo reposição da energia perdida, foram perdendo “impulso” até caírem.

## 9. Bohr explica o átomo

Niels Bohr tomou a si a tarefa de encontrar justificativas teóricas, capazes de suportar o modelo atômico de Rutherford. De início, não levou em conta as experiências a respeito dos espectros de raios dos elementos, um dos fenômenos que restavam sem explicação ao final do século XIX, conforme mencionamos na seção 2. Já em 1885, Balmer havia encontrado uma fórmula empírica que descrevia perfeitamente as raias espectrais do hidrogênio, fórmula esta depois aperfeiçoada por Rydberg. Alguém advertiu Bohr de que um modelo atômico bem sucedido deveria elucidar aqueles resultados antigos. Na verdade, ocorreu o contrário: bastou a Bohr um rápido olhar sobre a fórmula de Balmer-Rydberg para vislumbrar a solução do problema, sendo capaz, ao mesmo tempo, de justificar o átomo de Rutherford e explicar os espectros de raios. Mas, para tanto, foi necessário, como antes já haviam feito Planck e Einstein, que entrasse em conflito com a Física Clássica.

Esclareçamos em que consistem os espectros de raios dos elementos. Conforme descrevemos anteriormente, a frequência das ondas eletromagnéticas, emitidas por uma cavidade em um objeto incandescente, estende-se em um *continuum* desde valores muito pequenos até valores muito grandes, isto é, a radiação de cavidade varre um “espectro contínuo”. No que diz respeito à porção deste espectro que podemos ver, a qual chamamos luz, isso é facilmente verificável. Basta olhar para o objeto (ou cavidade) através de um prisma, e veremos todas as cores, como em um arco-íris, sem limites definidos entre uma e outra, passando por todos os matizes intermediários. Aliás, o arco-íris que se forma no céu, é uma evidência de que o espectro solar (o conjunto de frequências contidas na luz que o Sol emite) é um espectro

contínuo. Imaginemos que, um dia, ao olharmos para o céu, víssemos um arco-íris estranho, contendo, digamos, apenas quatro linhas coloridas, bem definidas e separadas, uma vermelha, uma alaranjada, uma verde e uma violácea. Isso seria uma evidência de que, nesse dia, o Sol desistira de emitir luz de todos os infinitos matizes possíveis, concentrando-se em apenas quatro cores bem definidas, ou seja, tornara-se um emissor de um espectro discreto, um “espectro de raias”.

Pois verificou-se que amostras gasosas dos elementos químicos, quando estimuladas por aquecimento em uma chama ou por passagem de corrente elétrica, emitem radiação sob a forma de espectros de raias. O número de raias e suas cores (frequências) são sempre as mesmas para um mesmo elemento, constituindo-se em uma espécie de assinatura ou impressão digital do mesmo. Este fato é a base da espectroscopia óptica, uma técnica que permite descobrir a composição de uma substância mediante a análise da luz que emite ou absorve.

Consideremos o hidrogênio, o mais leve e, portanto, o mais simples dos elementos químicos. De acordo com o modelo planetário de Rutherford, seus átomos devem ser constituídos por um único elétron, orbitando em torno de um núcleo. A parte visível de seu espectro ostenta quatro raias, nas cores vermelha, verde-azulada, anil e violeta. A fórmula de Balmer-Rydberg que descreve o espectro de raias do hidrogênio pode ser escrita como

$$f = \frac{R_H}{n^2} - \frac{R_H}{m^2} \quad (\text{equação 6}).$$

Nela,  $f$  é a frequência da luz emitida,  $R_H$  é um número chamado de “constante de Rydberg para o hidrogênio” e  $n$  e  $m$  são números inteiros. Fazendo-se  $n$  igual a 2 e  $m$  igual a 3, ou 4, ou 5, ou 6, obteremos, precisamente, as frequências das quatro raias visíveis no espectro de uma amostra de hidrogênio, na ordem em que foram enumeradas acima. Bohr percebeu de imediato que bastaria multiplicar a equação 6 pela constante de Planck  $h$  para ter, do lado esquerdo da igualdade, o *quantum* de energia de Einstein e, do lado direito, a diferença entre duas quantida-

des, identificadas cada uma por um número inteiro,  $m$  ou  $n$ :

$$h \times f = \frac{h \times R_H}{n^2} - \frac{h \times R_H}{m^2} \quad (\text{equação 7}).$$

Bohr assumiu, então, “como princípio”, a existência de trajetórias em torno do núcleo, as quais denominou “estados estacionários”, podendo um elétron percorrê-las sem perder energia. Bohr estipulou também que a cada um desses estados corresponde uma quantidade de energia  $E_k$  que pode ser calculada como

$$E_k = -\frac{h \times R_H}{k^2} \quad (\text{equação 8}),$$

onde  $k$  é um número natural que identifica a órbita ou estado em que o elétron se encontra;  $k$  é conhecido como “número quântico”. A emissão de um fóton, segundo Bohr, ocorre quando um elétron salta de um estado de maior energia para outro de menor energia, devendo a energia do fóton emitido ser igual à energia perdida pelo elétron neste salto. Por exemplo, se, na equação 8, fizermos  $k = 3$ , teremos  $E_3$ , a energia do terceiro estado estacionário; se fizermos  $k = 2$ , teremos  $E_2$ , a energia do segundo estado estacionário. A diferença entre essas duas quantidades mede a energia perdida por um elétron que “cai” do terceiro para o segundo estado estacionário:

$$E_3 - E_2 = -\frac{h \times R_H}{3^2} - \left( -\frac{h \times R_H}{2^2} \right) = \frac{h \times R_H}{2^2} - \frac{h \times R_H}{3^2} \quad (\text{equação 9}).$$

Mas esta deve ser também a energia  $E = hf$  fóton emitido no processo. Então,

$$h \times f = \frac{h \times R_H}{2^2} - \frac{h \times R_H}{3^2} \quad (\text{equação 10}).$$

A equação 10 é a própria equação 7 com  $n = 2$  e  $m = 3$ , a qual, por sua vez, dividida por  $h$ , reproduz a equação 6. Em outras palavras, Bohr obteve, com base em seus pressupostos teóricos, precisamente a fórmula empírica de Balmer-Rydberg, ou seja, explicou teoricamente os espectros de raias.

## 10. O Princípio da Correspondência

Mas faltava ainda obter o valor da constante de Rydberg com base em pressupostos teóricos. Para tanto, Bohr usou de um artifício que mais tarde formulou como um princípio, o chamado “princípio da correspondência”. A idéia é a mesma que surgiu, quando comentamos o funcionamento de um pêndulo: a descrição quântica deve convergir para a descrição clássica, quando as dimensões do sistema quântico ou o valor de suas variáveis dinâmicas crescem, assumindo valores típicos de sistemas macroscópicos. Nesse caso, Bohr considerou que, para grandes valores de  $m$  e  $n$ , a frequência do fóton emitido deve corresponder à frequência da radiação prevista pela eletrodinâmica clássica. Pôde, assim, calcular um valor teórico para  $R_H$  em perfeito acordo com o valor experimental já estabelecido, o que serviu como confirmação para suas hipóteses<sup>11</sup>.

Estranha maneira de fazer Física, a de Bohr. Propôs como princípio justamente o que não entendia e precisava explicar: a existência dos estados estacionários. Ao assim proceder, entrou em franco confronto com a Eletrodinâmica Clássica. E tomou como a energia de tais estados exatamente o valor extraído da fórmula empírica que almejava, mas não pôde deduzir com base nos princípios gerais. E ainda exigiu que seu resultado fosse consistente, no limite, com a Física Clássica, a qual estava, ao mesmo tempo, contrariando. Não é à toa que alguns eminentes físicos disseram, então, que, caso Bohr estivesse correto, abandonariam a Física. Outros, no entanto, consideraram seus resultados de suma importância e seguiram seus passos, fazendo avançar a descrição dos sistemas atômicos.

## 11. As ondas de matéria de Broglie

Cerca de dez anos decorreram desde a proposta de Einstein sobre a natureza dual da luz em

1905 até o sucesso de Bohr na explicação da estrutura atômica. Outro tanto tiveram que esperar os físicos até que mais um passo importante fosse dado para o desenvolvimento de uma física dos *quanta*. Tal passo foi dado em 1924 por Louis de Broglie, ao propor o comportamento ondulatório da matéria<sup>12</sup>.

Desta vez, a inspiração não veio de algum fenômeno inexplicado ou experimento a ser interpretado. De Broglie baseou sua proposta em uma concepção um tanto filosófica, um tanto poética, a respeito da natureza, mas bastante freqüente entre os físicos: a idéia de que a natureza deve ser simétrica. Ora, estava claro que um raio de luz, um ente físico cujo caráter ondulatório estivera por tanto tempo bem estabelecido, apresentava-se, de fato, com um aspecto dual, devendo, às vezes, ser visto com feito de partículas. Por que não admitir que, simetricamente, as partículas, os objetos materiais, não estivessem também a esconder um insuspeitado caráter ondulatório?

Além da frequência  $f$ , uma onda pode também ser caracterizada por uma outra grandeza, chamada de “comprimento de onda”, usualmente representada pela letra grega  $\lambda$ . Seguindo argumentos que não cabe aqui detalhar, de Broglie sugeriu que, a um objeto de massa  $M$ , que se move com velocidade  $V$ , deve-se associar um comprimento de onda expresso pela relação:

$$\lambda = h/MV \quad (\text{equação 11}).$$

onde  $h$ , novamente, é a constante de Planck.

De Broglie atribuía realidade física a suas ondas, às quais referia-se como “ondas de matéria”. Em sua concepção, as partículas apresentavam comportamento ondulatório, porque viajavam no espaço, conduzidas por essas ondas, acompanhando a sua propagação. Algo como um surfista “pegando uma onda”... Daí serem elas chamadas, também, de “ondas piloto”.

<sup>11</sup> Os livros didáticos costumam dar outra versão para os procedimentos de Bohr. Baseamo-nos aqui no relato de SEGRÉ, E. *Dos raios-X aos quarks*. Brasília: Universidade de Brasília, 1987. p.126 e seguintes.

<sup>12</sup> Em 1917, Einstein publicara um importante trabalho a respeito da interação entre um sistema físico quantizado e o campo eletromagnético, no qual obtivera resultados de grande impacto. Mas Einstein “corria por fora”, mais interessado na quantização dos campos do que no comportamento dinâmico das partículas, que dominava o interesse geral.

A proposta de Broglie recebeu confirmação experimental em 1927, quando foi observado o fenômeno da difração de elétrons, isto é, partículas exibindo comportamento ondulatório. Um importante avanço tecnológico baseado nesta descoberta foi a invenção do microscópio eletrônico. Mas a comunidade de físicos não esperou por essa confirmação para considerar plausível o caráter dual das partículas. Já em 1925, Schrödinger, inspirado por essa idéia, desenvolveu o que finalmente se poderia chamar de uma verdadeira teoria quântica<sup>13</sup>.

## 12. Os pilares da Física Quântica em sua fase pré-histórica

Para melhor avaliarmos o significado da contribuição de Schrödinger, façamos antes uma revisão crítica dos progressos relatados até aqui. Essa Física Quântica, cujos momentos mais significativos acabamos de descrever, é, às vezes, referida como a “antiga Mecânica Quântica”. Talvez fosse apropriado denominar esse período de “fase pré-histórica da Física Quântica”, pois o que ocorreu a seguir representou, para a nova disciplina, algo análogo à invenção da escrita para a humanidade.

Aquele primeiro quarto de século foi, sem dúvida, uma fase de grandes realizações. A dinâmica que rege o mundo microscópico começou a ser entendida, e vários fenômenos encontraram uma descrição plausível. A estrutura do átomo começou a ser desvendada e a tabela periódica dos elementos, antiga conhecida dos químicos, começou a ser explicada por argumentos físicos. Mas as bases teóricas e conceituais sobre as quais se assentava essa construção eram muito frágeis. Trabalhava-se, na verdade, de princípios esparsos, enunciados com o fim específico de atender a uma necessidade pontual, como a “hipótese puramente

formal” de Planck ou os postulados *ad hoc* de Bohr. Outro exemplo é o “princípio da exclusão” de Pauli, segundo o qual um estado estacionário em um átomo pode abrigar, no máximo, dois elétrons. Este princípio não se baseou em nenhuma idéia fundamental ou essencial, mas foi estabelecido com a única finalidade de explicar por que, em um átomo com muitos elétrons, eles não caem todos no estado de menor energia. Mais um princípio formulado “sob encomenda”, neste caso para viabilizar o entendimento da tabela periódica dos elementos.

Se quiséssemos identificar as linhas mestras que orientavam o trabalho dos físicos de então, optaríamos por designar as já mencionadas idéias da dualidade onda-partícula e do princípio da correspondência. Em resumo, os físicos ressentiam-se da falta de postulados autênticos, de princípios gerais sobre os quais pudessem assentar uma verdadeira teoria consistente, eficiente e abrangente. A Física vivia, de fato, uma situação não muito favorável à sua auto-estima como ciência...

## 13. A equação de Schrödinger e o início da fase histórica

A solução para esta desconfortável situação veio através de uma equação matemática proposta por Schrödinger em 1926, a qual apresentamos abaixo:

$$\left( -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (\text{equação 12}).$$

Aí está um excelente exemplo daquilo que chamamos “um modelo matemático para a descrição de um dado conjunto de fenômenos físicos”. Para o leigo, uma dúzia de símbolos incompreensíveis dispostos segundo algum critério hermético.

<sup>13</sup> Teoria Quântica é a teoria física baseada na utilização do conceito de unidade quântica para descrever as propriedades dinâmicas das partículas subatômicas e as interações entre a matéria e a radiação. As bases da teoria foram assentadas pelo físico alemão Max Planck, o qual, em 1900, postulou que a matéria só pode emitir ou absorver energia em pequenas unidades discretas, chamadas quanta. Outra contribuição fundamental ao desenvolvimento da teoria foi o princípio da incerteza, formulado por Werner Heisenberg em 1927. Ela foi abordada nas revistas *IHU On-Line*, n. 130, de 28 de fevereiro de 2005, que recebeu o título *Einstein: 100 anos depois do Annus Mirabilis. João Paulo II. Balanço e perspectivas*, dedicado a Einstein, e n. 141, de 16 maio de 2005, que levou o título *Terra habitável: um desafio para a humanidade*. (Nota da *IHU On-Line*)

Para o físico, o preenchimento das lacunas existentes na Física Quântica em sua fase pré-histórica. A equação de Schrödinger contém em si, ao mesmo tempo, os procedimentos necessários à solução de um problema físico e os princípios que os embasam. Ela é “a própria teoria”, a tão desejada teoria! Isso ficará claro com o relato de sua aplicação ao átomo de hidrogênio, logo a seguir.

Nesta equação,  $m$  representa a massa da partícula cujo comportamento dinâmico desejamos descrever;  $V$  é uma função que representa a “energia potencial” da partícula, grandeza esta que contém a informação sobre como o mundo exterior age sobre ela, como influencia o seu movimento; a presença da variável tempo é indicada pela letra  $t$ ; a variável espaço está contida no símbolo  $\nabla$ .  $h$  é a própria constante de Planck, só que dividida pelo fator constante  $2\pi$ . Como na álgebra elementar, resolver a equação significa “achar o valor da incógnita”, aqui representada pela letra grega  $\psi$ . Mas a equação de Schrödinger não é uma equação algébrica comum, e sim uma equação diferencial. Neste caso, a solução  $\psi$  não é apenas um número ou conjunto de números, e sim uma função matemática.  $\psi$  é função das variáveis “tempo” e “posição da partícula” e é usualmente conhecida como a “função de onda”, mas preferimos chamá-la de “função de estado” da partícula. “Toda a informação que se pode obter sobre o comportamento dinâmico da partícula está contida na função de estado  $\psi$ .”

Schrödinger aplicou, de imediato, a sua equação ao átomo de hidrogênio. Para tanto, bastou substituir nela a letra  $m$  pelo valor da massa do elétron e a letra  $V$  pela função que representa a energia potencial de interação (atração) entre o elétron e o núcleo, conhecida da Eletrostática. Resolvendo a equação, Schrödinger encontrou os resultados abaixo descritos e comentados:

1) A equação só apresenta soluções para determinados valores de energia, ou seja, a energia do átomo de hidrogênio é uma variável discreta, quantizada. Assim, não há necessidade de nenhum postulado, afirmando *a priori* a quantização da energia ou a existência de estados estacionários. Tudo decorre naturalmente da solução da

equação, dos procedimentos meramente matemáticos adotados para resolvê-la.

- 2) A expressão encontrada para os valores permitidos de energia foi exatamente a mesma proposta por Bohr (equação 8), com a constante de Rydberg também idêntica à encontrada por Bohr. Isso significa que o espectro de raios do hidrogênio ganhou uma descrição clara e precisa no contexto da nova teoria, com os números resultando de meros cálculos, sem necessidade de qualquer hipótese prévia a seu respeito.
- 3) Sendo coincidente com os resultados de Bohr, os resultados de Schrödinger, evidentemente, satisfazem ao princípio da correspondência, mas também de maneira natural, sem a necessidade de impô-lo como condição. A presença da constante de Planck  $h$  estabelece que seus resultados referem-se estritamente ao mundo microscópico, sendo redundante a sua aplicação aos sistemas macroscópicos com os quais interagimos quotidianamente.
- 4) A equação de Schrödinger não permite calcular, com exatidão, a trajetória percorrida pelo elétron em torno do núcleo. O mais que ela pode fornecer é a probabilidade de o elétron estar aqui ou acolá. Os livros didáticos costumam representar pictoricamente este resultado por meio de figuras, nas quais o núcleo aparece como um ponto central rodeado de manchas mais escuras ou mais claras, indicando as regiões onde é mais ou menos provável encontrar-se o elétron. Na teoria de Schrödinger, o elétron é descrito como uma “partícula” de ínfimas dimensões, dotada de massa e de carga elétrica e de localização imprecisa, indefinida. Esta é a nova visão que substitui a paradoxal dualidade onda-partícula, aceita (a contragosto!) durante a fase pré-histórica.

Comparemos este quadro com o apresentado pela antiga Mecânica Quântica, descrito na seção anterior. Fica claro que, com a nova Mecânica Quântica de Schrödinger, a Física Quântica encontrou a linguagem adequada para sua expres-

são e desenvolvimento, qual seja, a Matemática, que, de resto, é a linguagem natural e adequada para a Física, de um modo geral<sup>14</sup>. Eis porque, guardadas as proporções, podemos traçar um paralelo entre o significado do surgimento da equação de Schrödinger para a Física Quântica e a descoberta da escrita para a humanidade.

Embora a equação de Schrödinger sirva para descrever a dinâmica de uma única partícula, artifícios de cálculo, que permitiram aplicá-la ao caso de átomos complexos, foram desenvolvidos. Com o avanço dos recursos computacionais, foi possível calcular, com precisão e riqueza de detalhes, a estrutura eletrônica dos átomos de qualquer elemento químico, explicando seu espectro de raios, suas propriedades físicas e até mesmo seu comportamento químico. A tabela periódica dos elementos ficou inteiramente explicada e não seria exagero dizermos que a química encontrou seus fundamentos nas leis da Física.

A equação de Schrödinger levou a previsões notáveis a respeito do comportamento dos sistemas microscópicos, todas elas comprovadas em experimentos posteriores. Mencionaremos, de passagem, apenas duas, talvez as de maior impacto. Com relação aos osciladores físicos, deduziu-se que sua menor energia de oscilação não pode ser zero, conforme postulava Planck, mas existe um valor mínimo admissível, que é denominado de “energia de ponto zero”. Em outras palavras, um oscilador físico jamais alcançará o repouso. A outra previsão refere-se ao chamado “efeito túnel”, que é como se denomina a possibilidade de uma partícula confinada escapar ao confinamento como se encontrasse um túnel nas “paredes” do sistema. Duas importantes aplicações deste efeito são a explicação da radioatividade alfa e a construção dos modernos microscópios de tunelamento.

## 14. O presente e o futuro

Apesar de todo esse sucesso, a mecânica quântica de Schrödinger representa apenas o iní-

cio de um processo. Outros passos foram necessários até tornar-se uma teoria mais geral e abrangente, passando a merecer a denominação de Física Quântica. Em primeiro lugar, a equação de Schrödinger aplica-se apenas a partículas que se movem em baixas velocidades. Uma versão que contempla situações relativísticas (isto é, adaptada para grandes velocidades) foi, de imediato, desenvolvida por Dirac e foi fundamental para a descrição precisa da estrutura atômica. Para o tratamento de sistemas envolvendo um grande número de partículas, criaram-se as teorias estatísticas quânticas, em contrapartida à mecânica estatística clássica. Mas essas teorias aplicam-se apenas a partículas materiais, não servem para descrever a dinâmica dos fótons, uma vez que a estes não se pode atribuir um valor para a massa. Então, para descrever a quantização do campo eletromagnético, surgiu a Teoria Quântica de Campos. Eletrodinâmica quântica, Ótica Quântica, Cromodinâmica Quântica são extensões da teoria, apropriadas à descrição de determinadas categorias de fenômenos físicos. A cada passo, a linguagem e os recursos matemáticos tornam-se mais complexos e mais difícil se torna levar ao leigo uma informação fidedigna e consistente.

Mas houve também tropeços. A Física Quântica não mostrou a mesma adequação para a descrição dos processos nucleares. De certa forma, os problemas relativos ao núcleo atômico foram superados sem serem resolvidos, pois a discussão deslocou-se para uma escala ainda mais diminuta, a do mundo das partículas elementares, mundo este que ainda hoje carece de uma teoria que o represente de maneira satisfatória. Atualmente, os físicos trabalham na busca de uma teoria capaz de fornecer uma descrição unificada de todas as forças da natureza, que são classificadas em quatro tipos: as forças gravitacionais, as forças eletromagnéticas, as forças fortes ou nucleares e as forças fracas. Tal teoria, hoje ainda especulativa, é desenvolvida em linguagem matemática altamente sofisticada e designada pelas siglas GUT (Grand Unified Theory) ou TOE (Theory of Everithing). A

<sup>14</sup> A bem da verdade, diga-se que Heisenberg propôs, simultaneamente, a Schrödinger, outra versão formal inteiramente equivalente para a Mecânica Quântica, mas que só foi assimilada mais tarde.



Teoria do *Big Bang*, por exemplo, pode ser descrita como “os últimos avanços teóricos levados às últimas conseqüências”. As descrições que desta teoria têm sido feitas a título de divulgação científica não passam de arremedos, pois, pelas complexidades matemáticas que envolve, seria extremamente difícil torná-la compreensível aos leigos. Além do mais, é prematuro divulgá-la, pois a explicação que ela fornece sobre as origens do Universo está longe de ser unanimemente aceita, mesmo no estrito círculo dos especialistas. As razões pelas quais físicos de prestígio assumem o risco e a responsabilidade por tais iniciativas de popularização constituem, de fato, um verdadeiro mistério.

### 15. Mecânica quântica de Schrödinger x mecânica de Newton

Na intenção de iniciar uma discussão sobre o conteúdo essencial da Física Quântica, vamos nos restringir, agora, à sua versão mais simples, que é também a mais limitada: a Mecânica Quântica de Schrödinger. Conforme já foi dito, esta teoria descreve o comportamento de uma única partícula em interação com o meio exterior e está inteiramente contida na equação de Schrödinger (equação 12).

Para saber como se comporta uma certa partícula sob a ação de algum agente externo, o procedimento é, em princípio, muito simples: basta resolver a sua equação de Schrödinger. Hoje, é possível programar um computador para cumprir essa tarefa. Tudo o que precisamos fazer é alimentá-lo com apenas dois dados: a massa  $m$  da partícula e a função  $V$ , que representa a ação externa a que ela está sujeita. O computador fornecerá, então, a solução do problema, representada pela função de estado  $\Psi$ .

A função de estado  $\Psi$  contém toda a informação que é possível obter-se sobre o comportamento da partícula. No caso de um átomo, conforme já expusemos, é possível calcular, com absoluta precisão, as energias dos vários estados estacionários permitidos aos elétrons. Mas, quanto à

posição de cada elétron num dado momento, só o que se pode extrair de  $\Psi$  é a “probabilidade” de encontrá-lo em um dado ponto em um dado instante.

Um resultado frustrante, se contrastado com o que nos oferece a mecânica de Newton. Esta nos permite, por exemplo, prever com absoluta precisão onde estará um certo corpo celeste do sistema solar em um dado instante futuro, ou dizer onde esteve em qualquer momento no passado. É assim que os astrônomos podem fazer previsões espantosamente corretas sobre a ocorrência de eclipses ou interpretar relatos sobre efemérides astronômicas encontrados em documentos antigos. Já da Mecânica Quântica, com relação à posição de um elétron nas vizinhanças do núcleo atômico, o máximo de informação que podemos extrair é a probabilidade de ele estar aqui ou acolá...

Por que, então, não usamos a mecânica de Newton no estudo dos átomos? Ora, porque as previsões que ela faz sobre a localização dos elétrons, a sua energia, ou qualquer outra variável dinâmica que caracterize o seu comportamento, simplesmente dão errado. No mundo macroscópico, vemos os objetos com nossos olhos e seu movimento futuro é perfeitamente previsível. A Mecânica Clássica descreve adequadamente o comportamento dos objetos macroscópicos, tal como eles aparecem aos nossos olhos ou sob a mira de nossos instrumentos. Se Newton houvesse criado uma mecânica incapaz de ajustar-se a esta realidade, capaz apenas de indicar a probabilidade de, digamos, o sol nascer amanhã um pouco mais tarde ou mais cedo, ou de a próxima lua cheia acontecer daqui a três ou cinco semanas, certamente tal mecânica não haveria sido aceita. Já os elétrons, não podemos vê-los, nem dispomos de qualquer instrumento capaz de localizá-los com precisão. De que nos serviria, então, calcular a sua exata posição em um dado instante? Como a equação de Schrödinger permite calcular corretamente as energias dos estados estacionários e explicar as cores presentes nos espectros de raios dos elementos, que é o que vemos dos átomos, é ela, então, a teoria adequada para a descrição dos sistemas atômicos.

## 16. Duas visões da natureza

Na seção anterior, mencionamos uma circunstância a respeito das teorias físicas raramente evidenciada ou discutida, mesmo nos cursos de Física: tais teorias são construídas com o propósito de descrever o comportamento dos sistemas físicos dos quais se ocupam, da forma como os percebemos ou observamos, e sua validade é medida por sua adequação a tal propósito; o confronto com a experiência é o critério definitivo para a sua aceitação ou rejeição. Assim, a mecânica de Newton é uma teoria adequada para descrever os processos dinâmicos que ocorrem no mundo macroscópico e que não envolvem velocidades muito elevadas, e a tais processos dinâmicos restringe-se o seu domínio de validade. Quanto à Mecânica Quântica, mesmo sem fornecer informação precisa sobre a localização das partículas elementares, dá-nos conta perfeitamente dos processos dinâmicos que elas protagonizam, permitindo-nos explicar as sensações que nos produzem ou as indicações de nossos instrumentos de medida a respeito de seu comportamento.

As duas mecânicas, no entanto, oferecem duas concepções inteiramente diferentes acerca da natureza. A Física Clássica descreve um mundo onde os fenômenos naturais ocorrem de maneira determinista. Conhecendo-se as condições atuais de um dado sistema e conhecendo-se as leis que regem o seu comportamento, é possível prever, com precisão, a sua evolução ou reconstruir o seu passado. A cada causa segue-se um efeito bem determinado. Isso corresponde ao senso comum, concorda com a maneira como percebemos os fatos naturais em nosso dia-a-dia; as leis da Física Clássica nada mais fazem do que descrever esta nossa realidade. Já as leis da Física Quântica descrevem uma outra natureza, ajustam-se a uma outra realidade, na qual dois sistemas físicos idênticos, sob idênticas condições, provavelmente não evoluirão da mesma forma, sendo impossível prever o exato curso de cada um. Em outras palavras, a Física Quântica, descreve uma natureza em que os fenômenos naturais seguem um curso aleatório, probabilístico. Mas, como será de fato a natureza?

Lembremos que os idealizadores da Física Quântica impuseram-lhe, desde o início, a condição de que obedecesse ao já mencionado princípio da correspondência, isso é, exigiram que a sua nova teoria, quando aplicada a velhos problemas já resolvidos pela Física Clássica, desse os mesmos resultados, resultados esses, aliás, já consagrados em virtude de sua plena concordância com os fatos experimentais. Assim, no contexto da Física Quântica, o aparente curso determinístico dos fenômenos no mundo macroscópico reflete a circunstância de que, nesta escala, dentre as múltiplas possibilidades para o curso de um fenômeno, uma delas, justamente aquela que estamos acostumados a presenciar, é privilegiada em relação às demais por ser, de longe, a mais provável; nada impede, no entanto, ao menos em princípio, que, em raríssimas ocasiões, algo inusitado ou surpreendente possa acontecer. A Newton, evidentemente, não poderia ocorrer semelhante circunstância, pois sequer conhecia os fatos com os quais se defrontariam os físicos na virada do século XIX, havendo a sua mecânica resultado, portanto, em uma teoria de âmbito limitado, adequada apenas aos sistemas macroscópicos e situações que não envolvem grandes velocidades. Então, repetindo o que já foi dito no penúltimo parágrafo da sessão 7, a Mecânica Quântica, por abranger a Mecânica Clássica e ir além dela, é considerada mais adequada, mais completa, mais “verdadeira”, do ponto de vista da Física. Seria nossa percepção de uma natureza determinista uma mera ilusão, apenas o resultado de nossa maneira imperfeita de ver e interpretar os fenômenos naturais?

Essa não seria uma situação nova na história da ciência. Aristóteles, baseado em suas observações e em sua experiência diária, formulou o princípio de que um objeto somente executa um movimento (que não lhe seja natural) enquanto estiver sob a ação de um agente motor; cessada a ação deste agente, o objeto pára. Foram necessários dezoito séculos até que Galileu propusesse o princípio da inércia, segundo o qual um objeto não necessita de agente externo algum que sustente o seu movimento, mostrando, assim, que Aristóteles se deixara iludir pelas aparências, fora enganado pelos sentidos. A força dos dados sen-

soriais, das vivências do cotidiano é tanta que, ainda hoje, quem não estudou Física geralmente ainda interpreta a tendência dos objetos ao repouso à maneira de Aristóteles. Da mesma forma, é muito difícil aceitar-se que seja da essência da natureza o comportamento errático, probabilístico dos fenômenos naturais. Esta nova dificuldade, no entanto, não afeta apenas aos que não estudaram Física, mas dividiu as opiniões dos próprios criadores da Física Quântica e ainda hoje é motivo de discussão.

### 17. O Princípio da Incerteza e o Princípio da Complementaridade

Os físicos da chamada Escola de Copenhague, liderados por Bohr, aceitaram, com naturalidade, a nova concepção. Interpretaram o caráter probabilístico das previsões da mecânica quântica como a contrapartida teórica das dificuldades inerentes aos processos de medida das propriedades dos sistemas físicos (sub)microscópicos.

Um exemplo pode ajudar a compreender a situação. Nas estradas, os “pardais” realizam, com grande eficiência, a tarefa de obter simultaneamente a posição e a velocidade dos automóveis, o que é possível com o auxílio de ondas eletromagnéticas: um radar envia, na direção do automóvel, um feixe de microondas que, uma vez refletido por ele, traz de volta ao equipamento a informação sobre a sua velocidade; no mesmo instante, um *flash* ilumina o automóvel para que possa ser fotografado, sendo, então, a sua posição precisamente determinada na foto. Imaginemos o mesmo procedimento tendo como objeto um elétron. Suponhamos que queiramos saber, num dado momento, a exata posição e a velocidade de um elétron que vem em nossa direção. Sendo o elétron um ente microscópico, recebe as ondas luminosas que lhe enviamos como uma rajada de fótons, ou seja, partículas que, chocando-se contra ele, desviam-no de sua trajetória, alteram a sua velocidade. O que poderão dizer tais fótons, uma vez de volta ao equipamento, sobre a antiga velocidade do elétron ou sobre o novo rumo que ele tomou?

O importante, no exemplo acima, é compreender que a impossibilidade de obter informações precisas sobre o elétron não é de ordem meramente prática, tal que possa ser superada mediante aperfeiçoamento dos métodos ou instrumentos. Trata-se de uma dificuldade essencial, inerente à escala do mundo microscópico, impossível de ser transposta. Para obter informações sobre um elétron, necessitamos da intermediação de um fóton; mas um fóton jamais poderá “ler” um elétron sem com ele interagir, sem alterar as suas condições, o seu estado. Nós, seres do mundo macroscópico, devemos nos conformar com esta limitação intrinsecamente insuperável: não nos é dado contemplar o mundo microscópico como meros espectadores, sem nele interferir, sem alterá-lo. O que vemos ao perscrutá-lo já é o resultado desta interação; talvez valha aqui a metáfora do elefante na loja de cristais... E, no afã de encontrar uma teoria capaz de se ajustar às evidências experimentais que se iam acumulando, os físicos acabaram por construir uma teoria que não apenas explica o comportamento dos entes microscópicos em suas manifestações espontâneas, mas também descreve a maneira como eles reagem, quando em interação conosco. Chega a ser quase obrigatório admitirmos que a resposta do mundo microscópico a essas nossas intervenções invasivas só possa ser descrita em termos de probabilidades, uma vez que o cálculo das probabilidades é o recurso matemático adequado para a descrição de fenômenos aleatórios. Em termos práticos, o que precisávamos era de uma teoria que se ajustasse a essas circunstâncias todas, que descrevesse os resultados dessas interações, que explicasse as leituras de nossos instrumentos de medida; a Mecânica Quântica cumpriu bem essa função, daí o seu sucesso.

O Princípio da Incerteza de Heisenberg e o Princípio da Complementaridade de Bohr foram construídos nessa concepção. Representam tentativas de interpretar o caráter probabilístico da nova teoria como resultado da impossibilidade de conseguirmos informações precisas sobre o mundo microscópico, tal como as obtemos sobre o mundo macroscópico. O primeiro afirma que existem pares de grandezas dinâmicas que não podem ser medidas simultaneamente com qual-

quer precisão arbitrária. A posição e a velocidade de uma partícula são um bom exemplo. Quanto ao segundo, já nos referimos a ele na Introdução; discuti-lo com mais profundidade seria tarefa por demais complexa para este trabalho. São, essencialmente, versões equivalentes da mesma idéia fundamental.

Mas, mesmo no grupo de Bohr, aprofundavam-se as discussões. O famoso paradoxo conhecido como “o gato de Schrödinger” mostra que o próprio criador da mais famosa equação da Física Quântica apontava contradições na interpretação probabilística atribuída ao formalismo da nova teoria. A esta altura, no entanto, a teoria já avançara muito, e a proposta do paradoxo já se deu em um contexto diferente do até aqui apresentado, razão pela qual não o discutiremos agora.

## 18. Einstein e a Física Quântica

Albert Einstein contribuiu para o desenvolvimento da física quântica desde a primeira hora, mas a relevância de sua contribuição raramente é posta em evidência, em virtude de haver sido ofuscada por seu legado maior, a Teoria da Relatividade. Esquecemos, com freqüência, que o Prêmio Nobel lhe foi concedido, principalmente, por haver proposto a quantização do campo eletromagnético e, com base nela, haver explicado o efeito fotoelétrico (ver seção 8). Também já mencionamos que, em 1917, quando o interesse geral era atraído pelas propriedades dinâmicas das partículas subatômicas, Einstein “corria por fora”, mais interessado na quantização dos campos eletromagnéticos, o que o credencia como um autêntico precursor da moderna Teoria Quântica de Campos (ver nota de rodapé nº 7). O trabalho, que publicou naquele ano, contém, em seu bojo, a indicação teórica sobre a viabilidade de construir-se um amplificador de luz, o que, de fato, veio a ser realizado na década de cinqüenta, resultando no equipamento hoje conhecido como *laser*.

Mas Einstein foi, paradoxalmente, um crítico implacável da Teoria Quântica. O seu descontentamento talvez possa ser sintetizado da seguinte forma: ele não compactuava com o conformismo

da Escola de Copenhague. É certo que, por meio de experimentos, não podemos acessar o mundo microscópico sem nele interferir; não podemos, portanto, por esta via, obter informação precisa sobre seus constituintes e seu comportamento. Mas a teoria tem obrigação de ir além, os físicos devem ser capazes de, pela força do intelecto, compreender as profundezas da matéria. Em 1935, Einstein juntou-se a Podolsky e Rosen para formular o famoso paradoxo (ou argumento) EPR, mediante o qual pretenderam demonstrar a precariedade da Mecânica Quântica e a inadequação da concepção probabilística da natureza, que vem embutida em se arcabouço teórico.

Por suas concepções filosóficas, Einstein pode ser considerado um realista. Atribuía à natureza uma realidade objetiva, realidade esta que o homem procura conhecer e compreender através da ciência. Quanto mais evoluir a ciência, mais próxima da realidade da natureza será a descrição que dela fazem os cientistas. Era, também, um homem profundamente religioso: professava uma religião que ele próprio qualificava como transcendental. Não é difícil entender o seu realismo filosófico como compatível com esta concepção transcendental a respeito de Deus e do universo. Tal concepção, no entanto, não admitiria a idéia de uma natureza que se comportasse aleatoriamente, cujas leis não impusessem aos fenômenos um curso predeterminado, uma finalidade. Ou seja, a descrição quântica do mundo microscópico não poderia corresponder à verdade da natureza. “Deus não joga dados” foi a frase que cunhou para expressar esta convicção e que se tornou famosa.

## Conclusão

Os posicionamentos filosóficos diante do formalismo da Física Quântica não se limitam à controvérsia entre o pragmatismo da Escola de Copenhague e o realismo de Einstein. Há lugar para todas as tendências, do solipsismo ao positivismo, passando por uma esdrúxula sugestão sobre a possibilidade de o universo subdividir-se continuamente em universos paralelos, idênticos em

tudo, exceto por alguma característica particular (por exemplo, o gato de Schrödinger estar vivo em um deles e morto no outro...). Não obstante, a Física Quântica é um sucesso como teoria científica, na medida em que descreve adequadamente o mundo microscópico e nossas relações com ele, a ponto de permitir ao homem um domínio fantástico sobre os fenômenos físicos nessa escala diminuta. O imenso impacto tecnológico, sofrido pela civilização nas últimas décadas, é consequência direta desse domínio.

Ressaltemos, à guisa de conclusão, alguns aspectos:

1. As teorias da Física só atingem a maturidade, quando expressas em linguagem matemática. Conforme expusemos na seção 14 e nota de rodapé número 8, a fase madura da Física Quântica iniciou quando Schrödinger e Heisenberg desenvolveram suas teorias formais. Mas a Matemática é, para a Física, muito mais do que mera linguagem: é mediante o uso de procedimentos da álgebra e do cálculo avançado que se vão relacionando os conceitos, princípios e leis, de modo a extrair conclusões. Ao desenvolver uma teoria, “o físico não argumenta, calcula”!
2. A Física Quântica é a teoria que descreve os processos físicos no mundo microscópico (e submicroscópico). A constante de Planck  $h$  está presente em todas as equações da Física Quântica, sem exceção; o seu valor extremamente pequeno estabelece que os efeitos quânticos somente são significativos naquele mundo de escala

também extremamente pequena (ver seção 7). Se usarmos a Física Quântica na descrição de um fenômeno em escala macroscópica, os aspectos quânticos serão ofuscados pela magnitude dos aspectos não-quânticos, e a descrição obtida será idêntica à dada pela Física Clássica (princípio da correspondência).

3. A busca de efeitos genuinamente quânticos em escala macroscópica constitui-se em tema de pesquisa atual. Como tema de pesquisa, é válido. Nenhum resultado positivo, no entanto, foi até hoje relatado.
4. Vemos, com frequência, conceitos, princípios e procedimentos da Física Quântica aplicados a processos não-físicos (economia, direito, psicologia, relações interpessoais, saúde...), a sistemas macroscópicos (de escala incompatível com o valor da constante de Planck), sem a precisão de linguagem e sem o rigorismo lógico-formal da Matemática. Podemos admitir que pessoas façam uma extensão livre da Física Quântica, assim como alguém faz uma releitura livre de um texto ou uma interpretação livre de uma obra de arte. Mas o que elas estão fazendo já não é mais Física Quântica. Algumas, no entanto, com ou sem formação em Física, insistem, mesmo quando advertidas, em qualificar sua ação como tal. Seria ótimo se tais pessoas estudassem mais Física Quântica, ou revisassem o seu enfoque, ou, até mesmo, reavaliassem suas intenções.

## As ‘digitais’ de Einstein encontram-se em todas as áreas da Física moderna, porém temos que ter cuidado com o charlatanismo

*Entrevista com Carlos Alberto dos Santos*

*Carlos Alberto dos Santos é graduado em Física pela PUC-Rio, mestre e doutor em Física UFRGS, com a tese Composição superficial e propriedades mecânicas e tribológicas de aços carbono implantados com nitrogênio. Coursou pós-doutorado no Centre d'Études Nucleaires de Grenoble, na França. Leciona no Departamento de Física da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). É autor de, entre outros, **O plágio de Einstein**. Porto Alegre: WS editor, 2003 e **Nitretação Iônica**. Natal: Cooperativa Cultural da UFRN. 1989.*

**IHU On-Line – Quais os principais aspectos que irá abordar ao discutir a preparação de Einstein para o seu Ano Miraculoso?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Existem diversos mitos sobre a biografia de Albert Einstein<sup>15</sup>, a maioria dos quais persiste no imaginário popular graças à veiculação de equívocos por meio de importantes meios de comunicação de massa. Um deles é que Einstein teve uma tempestade de criatividade em 1905. Tudo que ele fez naquele Ano Miraculoso<sup>16</sup> é fruto de um rasgo de genialidade. Outro mito bastante difundido é que ele era mau

aluno. Este mito é confirmatório ou paradoxal, conforme o enfoque dado à produção científica de Einstein. Se ele fosse verdadeiro, o rasgo de genialidade poderia ter uma justificativa. Se o rasgo de genialidade não for verdadeiro, o segundo mito não se sustenta. Na palestra, eu tento desconstituir esses mitos, mostrando que, ao contrário, Einstein era bom aluno naquilo que lhe interessava, e desde sua mais tenra idade dirigiu seu esforço intelectual para aquilo que passou a publicar a partir de 1900.

**IHU On-Line – Tomando como base a infância de Einstein, quais os fatos que poderiam prenunciar o aparecimento de sua genialidade?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Existem quatro momentos na infância e na adolescência de Einstein prenunciadores da sua genialidade, todos eles relatados pelo ele mesmo, em suas Notas Autobiográficas<sup>17</sup>. Entre os quatro e cinco anos, seu pai lhe deu de presente uma pequena bússola. Einstein ficou muito intrigado com o fato de que a agulha sempre apontava na mesma direção, qualquer que fosse a posição da bússola. O que o inco-

<sup>15</sup> Sobre Einstein, confira a edição n° 135 da revista **IHU On-Line**, sob o título *Einstein. 100 anos depois do Annus Mirabilis*. A publicação está disponível no sítio do Instituto Humanitas Unisinos (IHU), endereço [www.unisinos.br/ihu](http://www.unisinos.br/ihu). A TV Unisinos produziu, a pedido do IHU, um vídeo de 15 minutos em função do **Simpósio Terra Habitável**, ocorrido de 16 a 19 de maio de 2005, em homenagem ao cientista alemão, do qual o professor Carlos Alberto dos Santos participou, concedendo uma entrevista. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>16</sup> Ano Miraculoso, ou ainda Annus Mirabilis – denominação dada ao ano de 1905, quando Einstein publicou seus trabalhos sobre o efeito fotoelétrico, a relatividade especial e o movimento browniano. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>17</sup> EINSTEIN, Albert. **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1990. (Nota da **IHU On-Line**)

modava era que não havia nada “segurando” a agulha. Essa ação a distância (que depois ele veio a saber ser devida ao campo magnético terrestre) passou a incomodá-lo durante seus estudos universitários e foi uma das motivações para a idéia da curvatura do espaço-tempo, conceito fundamental na sua teoria da relatividade geral. O segundo momento revelador ocorreu quando ele tinha dez anos de idade. Desafiado por seu tio, ele demonstrou o teorema de Pitágoras, apenas observando figuras geométricas (retas paralelas, convergentes e triângulos diversos). O terceiro momento ocorreu entre os doze e os quatorze anos, quando ele aprendeu, sozinho, noções de cálculo diferencial e integral. Finalmente, no quarto momento, aos dezesseis anos, na Escola Cantonal de Aarau, ele se imagina correndo com a velocidade da luz, ao lado de uma onda eletromagnética. Sua intuição sugere que ele veria o campo eletromagnético estacionário. No entanto, isso é uma contradição, pois que a onda está se propagando! Este problema foi resolvido ao longo de dez anos, e constitui o cerne da teoria da relatividade restrita.

### **IHU On-Line – Como caracteriza a trajetória estudantil e a carreira acadêmica de Einstein?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Einstein detestava tudo que exigia memorização, e não tinha qualquer respeito pela autoridade. Então, quando o assunto não lhe interessava (biologia, línguas estrangeiras, história), ele não fazia a menor questão de esconder seu desapontamento, e provavelmente deixava transparecer uma atitude arrogan-

te, atraindo a ira dos professores. Foi desse tipo de contexto que se gerou o mito do aluno relapso. No exame final do Ensino Médio, Einstein teve quase todas as notas entre 9 e 10. No exame intermediário na Escola Politécnica (ETH), ao final dos dois primeiros anos, ele teve a melhor média da turma. No exame final, ele teve a pior nota entre os aprovados. Mileva, sua primeira mulher, foi reprovada. Sabe-se hoje, contudo, que, nos dois últimos anos do curso, ele estava interessado em assuntos que não eram tratados na ETH. Na verdade, ele estava se preparando, sozinho, para o que viria a ser, o criador de universos.

Antes dos magníficos trabalhos de 1905, Einstein publicou, de 1901 a 1904, cinco trabalhos no *Annalen der Physik*. Embora os trabalhos não contivessem grandes novidades, pois que já haviam sido abordados por Boltzmann<sup>18</sup> e principalmente por Gibbs<sup>19</sup>, a forma autônoma como Einstein tratou a mecânica estatística foi suficiente para que os editores do *Annalen* o convidassem para fazer resenhas de artigos e livros publicados em outros jornais. Ele chegou a resenhar um artigo e um livro publicados por Max Planck<sup>20</sup>. Trata-se de um privilégio normalmente concedido a grandes cientistas, e não a um jovem de 25 anos, sem o título de doutor, nem vínculo com o meio acadêmico.

### **IHU On-Line – Além da Teoria da Relatividade, quais são as outras contribuições importantes de Einstein para a Física moderna?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Sem exagero, podemos dizer que as “digitais” de Einstein encontram-se em todas as áreas da Física moderna e,

<sup>18</sup> Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906): matemático e físico austríaco. Sistematizou o conceito de entropia, segundo o qual há uma tendência natural de a energia se dispersar e de a ordem evoluir invariavelmente para a desordem. Explica o desequilíbrio natural entre trabalho e calor. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>19</sup> Josiah Gibbs (1839-1903): professor de Física e Matemática na Universidade de Yale, nos Estados Unidos. Propôs uma fórmula mais abrangente, que inclui certos tipos de interações entre as moléculas. A fórmula de Boltzmann-Gibbs tem sido usada pelos físicos por cerca de 120 anos. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>20</sup> Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947): físico alemão, considerado o pai da Teoria Quântica. Em 1899, descobriu uma nova constante fundamental, chamada em sua homenagem *Constante de Planck*, que é usada, por exemplo, para calcular a energia do fóton. Um ano depois, descobriu a lei da radiação térmica, chamada Lei de Planck da Radiação. Esta foi a base da Teoria Quântica, que surgiu dez anos depois com a colaboração de Albert Einstein e Niels Bohr. De 1905 a 1909, Planck atuou como diretor-chefe da *Deutsche Physikalische Gesellschaft* (*Sociedade Alemã de Física*). Como consequência do nascimento da física quântica, foi premiado, em 1918, com o Prêmio Nobel de Física. Após sua morte, o instituto KWG passou a chamar-se *Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften* (MPG, Sociedade Max Planck para o Progresso da Ciência). (Nota da **IHU On-Line**)

por conseqüência, em praticamente toda tecnologia contemporânea. A mecânica estatística base essencial para o desenvolvimento da Física da matéria condensada, teve seu grande impulso depois dos trabalhos de Einstein. Em 1917, ele publicou um artigo com os fundamentos teóricos do laser. Observe que este só veio a ser inventado nos anos 1960. Isso tudo para não falar na idéia do fóton<sup>21</sup>, o quantum de luz.

### **IHU On-Line – Realmente Einstein plagiou o cientista italiano Olinto de Pretto? Como se explica esse fato?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Por volta de 1985, o historiador da Universidade de Perugia, Umberto Bartocci<sup>22</sup>, descobriu que, um ano antes de Einstein, Olinto de Pretto<sup>23</sup>, um cientista amador italiano, também publicara um trabalho com uma equação do tipo  $E=mc^2$ . Na sua pesquisa, o Prof. Bartocci descobriu que um irmão de Olinto trabalhava com o tio de Michele Besso, grande amigo de Einstein. Com base nessa coincidência, ele levantou a hipótese de que Einstein teria tido conhecimento do trabalho e que provavelmente teria se motivado a escrever o seu. O jornal inglês *The Guardian* deu grande publicidade ao caso, e várias suspeitas de plágio foram levantadas em outros veículos de comunicação. Bartocci tentou, mas não conseguiu publicar sua pesquisa em pelo menos duas revistas de história. Os editores consideraram inverossímil sua hipótese. De fato, o trabalho de Olinto de Pretto, baseado na existência do éter e pleno de equívocos conceituais não poderia ter motivado Einstein a deduzir sua famosa equação.

Tendo por base esses fatos, escrevi a novela *O plágio de Einstein*, na qual vemos o desespero de um hipotético staff (inspirado no staff que está

editando todos os documentos de Einstein) diante da possibilidade do plágio. A novela desenvolve-se sobre a investigação da autenticidade de documentos comprometedores para a honra de Einstein. Descobre-se finalmente que se trata de uma fraude.

### **IHU On-Line – Qual é a atualidade das descobertas de Einstein?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Parte da resposta a esta questão está na resposta à questão 4, mas ela não pára ali. A busca por uma teoria do campo unificado, empreendida por Einstein, continua até, hoje envolvendo uma enorme comunidade de cientistas em todas as partes do mundo. O condensado Bose-Einstein, previsto nos anos 1920, só recentemente foi realizado, e valeu o Prêmio Nobel de Física de 2001 para três cientistas norte-americanos<sup>24</sup>. Esta realização experimental deverá ter repercussões interessantíssimas, na medida em que permitirá testes da Teoria Quântica em objetos macroscópicos.

### **IHU On-Line – Como a Física dialoga com outras ciências hoje e quais são seus desafios para o futuro?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Os séculos XIX e XX são considerados os séculos da Física. Chegamos aonde chegamos, em termos científicos e tecnológicos, graças à Física. Hoje consideramos que o século XXI será o século da Biologia e áreas correlatas (Engenharia Genética, Nanotecnologia<sup>25</sup>), e grande parte dessa história tem a ver com as aplicações que hoje podemos fazer dos conhecimentos adquiridos com a Física. Um dos grandes desafios é o desenvolvimento da Nanociência a serviço das ciências médicas.

<sup>21</sup> **Fóton:** partícula mediadora da força eletromagnética. O fóton também é o *quantum* da radiação eletromagnética, incluindo a luz. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>22</sup> Umberto Bartocci: professor de Geometria e História da Matemática da Universidade de Perugia, na Itália. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>23</sup> Olinto de Pretto: cientista italiano de Vicenza, Bolonha, falecido em 1921. (Nota da *IHU On-Line*).

<sup>24</sup> Trata-se dos cientistas Eric Cornell, Carl Wieman e Wolfgang Ketterle. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>25</sup> **Nanotecnologia:** ciência associada a diversas áreas (como a medicina e eletrônica) de pesquisa e produção na escala nano. O princípio básico da nanotecnologia é a construção de estruturas e novos materiais com base nos átomos (como se fossem tijolos). É uma área promissora, mas que dá apenas seus primeiros passos, mostrando, contudo, resultados surpreendentes, como na produção de semicondutores, por exemplo. Sobre o assunto, a *IHU On-Line* publicou a edição 120, de 25 de outubro de 2004, intitulado *O mundo desconhecido das nanotecnologias*. (Nota da *IHU On-Line*)



**IHU On-Line – Qual é a importância de estudar esse assunto numa universidade, sobretudo para um público composto por estudiosos de outros ramos do conhecimento e também pessoas de fora do meio acadêmico?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Existem vários ângulos para se abordar essa questão. Em primeiro lugar, a caminhada intelectual de Albert Einstein é um excelente objeto de estudo para a epistemologia da ciência. Depois, a sua própria história de vida tem facetas importantes conectadas com o preconceito e a intolerância humana. Finalmente, o conhecimento estrito das suas pesquisas são imprescindíveis para o entendimento da Física e de grande parte da tecnologia contemporânea.

**IHU On-Line – Diz o famoso panegírico sobre Newton que ele trouxe para a luz do dia as leis sobre as quais Deus havia lançado um “manto escuro”. Como podemos nos referir às descobertas de Einstein?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Acho que é a mesma coisa. O que Galileu e Newton fizeram com a ciência aristotélica, Einstein fez com a física clássica (mecânica newtoniana, eletromagnetismo, termodinâmica). Todos eles quebraram paradigmas vigentes. Einstein foi o estopim, que outros contribuíram para acender e transformar a ciência e a tecnologia do século XX. Praticamente tudo que hoje temos na tecnologia, vem daqueles trabalhos da virada do século.

**IHU On-Line – Quais as decorrências das descobertas de Einstein que o senhor destaca?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Quase tudo que temos hoje no nosso cotidiano (em termos tecnológicos) vem das descobertas de Einstein. Para as situações mais óbvias, o caminho é simples e claro: quantização da radiação eletromagnética – modelo atômico de Rutherford e Bohr<sup>26</sup> – mecânica quântica – física nuclear – semicondutores –

microeletrônica. A relatividade geral resultou na moderna cosmologia, que é a forma como entendemos o mundo. Também na tecnologia, a relatividade geral tem influência: se não fossem usadas correções relativísticas nos equipamentos de GPS<sup>27</sup>, seriam acumulados erros da ordem de 11 km por dia.

**IHU On-Line – Em recente artigo, o senhor afirmou que “Einstein percebia similaridades nos princípios básicos em contextos aparentemente desconexos”. O senhor poderia, de maneira exemplificativa, discorrer sobre essa característica da percepção de Einstein?**

**Carlos Alberto dos Santos** – No final do século XIX, a física clássica era composta, essencialmente, da mecânica newtoniana, da termodinâmica e do eletromagnetismo. Essas três áreas tinham pouca conexão. A teoria cinética dos gases usava conceitos da mecânica, mas ainda estava no início do seu desenvolvimento. O problema da radiação de corpo negro (um problema essencialmente da termodinâmica) foi resolvido por Max Planck<sup>28</sup>, quando, em 1900, ele propôs que a energia só podia ser absorvida ou emitida em quantidades bem definidas, que ele denominou *quantum*, e sua energia era definida pelo produto da frequência da radiação emitida pelo corpo aquecido e de uma constante, que depois veio a ser denominada constante de Planck. No entanto, ele entendia que esta constante era tão somente um artifício matemático para ajustar a curva espectral. Naquela mesma época, havia outro problema, circunscrito ao eletromagnetismo. Era o efeito fotoelétrico, isto é, quando uma chapa metálica era irradiada por algum tipo de radiação eletromagnética (por exemplo, radiação ultravioleta), ela adquiria carga elétrica positiva. Na verdade, o fato essencial era que ela emitia elétrons. Para resolver esse problema, Einstein tomou emprestada a idéia de

<sup>26</sup> Niels Henrik Borh (1885-1962), físico dinamarquês, apoiando-se em pesquisas de Nelson Ernest Rutherford, físico neo-zelandês (1871-1937) e de Max Plack (ver nota abaixo) concebeu uma teoria atômica que destacou-se pela exatidão. (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>27</sup> Sigla de Global Positioning System. Trata-se de um sistema de rádio navegação, baseado em satélite. Determina a posição do usuário 24 horas por dia, sob qualquer condição climática e em qualquer local do mundo. (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>28</sup> Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), físico alemão, considerado o pai da teoria quântica (Nota da **IHU On-Line**).

Planck e a estendeu para a radiação: ele propôs que a radiação eletromagnética, isto é a luz, era composta de corpúsculos, também denominados *quantum*. Hoje esses corpúsculos são conhecidos como fótons. Essa foi a grande revolução do início do século XX. Ao explicar o efeito fotoelétrico, Albert Einstein deu vida à constante de Planck. Oito anos depois, Niels Bohr a usaria no seu modelo atômico (na verdade, modelo proposto por Rutherford). Então, ao conectar termodinâmica e eletromagnetismo, Einstein deu o grande passo para a formulação da teoria quântica.

**IHU On-Line – Qual é a sua opinião sobre a aplicação dos conceitos quânticos em outras áreas do conhecimento humano?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Vejo com muita preocupação o exagero que se comete na generalização dos conceitos quânticos. Frequentemente não passa de charlatanismo ou uso inadequado de analogias.

**IHU On-Line – O senhor pode relacionar algumas das analogias que lhe parecem forçadas e/ou temerárias?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Você já viu um livro cujo título é algo como *Administração Quântica*<sup>29</sup>? O professor Moacir Araújo Lima (participa com frequência dos programas da TV Guaíba) costuma dizer que a teoria quântica, ao estabelecer que a medida depende do observador, justifica os ensinamentos espíritas. É esse tipo de exagero que me preocupa. A teoria quântica só vale no mundo microscópico. Sequer vale na cosmologia! Como será possível extrapolá-la para o comportamento humano, ou espiritual? Infelizmente, não posso entrar em detalhes, pois não costumo memorizar as abordagens exóticas em torno da física. No livro *Imposturas intelectuais*<sup>30</sup>, do Sokal, há uma boa coleção.

**IHU On-Line – Como o senhor avalia o ensino de Física no Brasil? As suas dimensões e projeções “miraculosas” vêm sendo compreendidas adequadamente?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Há um problema muito sério para o ensino das ciências no Brasil: a baixa valorização do professor, sobretudo no ensino médio, onde esta situação é mais crítica. Na universidade, recebemos alunos com a mente completamente deformada. Muito esforço tem que ser feito para quebrar os *misconceptions* (ou concepções espontâneas) e iniciar um processo razoável de ensino-aprendizagem. Com a baixa remuneração, os professores são obrigados a assumir uma exagerada carga didática, impedindo o necessário aperfeiçoamento.

**IHU On-Line – Para o ensino das ciências naturais, o que são alunos “com a mente completamente deformada”?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Em suma, uma mente é “deformada” em ciência, quando, na solução de qualquer problema, deixa de usar os conceitos fundamentais da matéria pertinente. Isso se manifesta claramente pela falta de uso da intuição. Por exemplo, ao perguntar o que acontece quando largamos uma pedra (simplesmente abrimos a mão e a deixamos livre), a maioria dos alunos tenta responder, apelando para conceitos complexos, alguns dos quais eles não têm a menor idéia do que significam. Falam em campo gravitacional, força gravitacional, etc. Quase nenhum diz a resposta óbvia: A PEDRA CAI. Essa é a primeira resposta a ser dada. É tão simples, não? Mas a deformação de uma educação inadequada impede que o aluno PENSE SIMPLES!

**IHU On-Line – Considerando que o termo “milagre” designa basicamente um fenômeno inexplicável pelas leis naturais, não é cu-**

<sup>29</sup> Provavelmente o entrevistado refira-se ao livro *Em busca da empresa quântica*, de Clemente da Nóbrega. Rio de Janeiro: Ediouro, 1996. Está esgotado, já em sua segunda edição. (Nota da *IHU On-Line*).

<sup>30</sup> Sokal, Alan e Bricmont, Jean. *Imposturas intelectuais*. Rio de Janeiro: Editora Record, 1999 (Nota da *IHU On-Line*).

**rioso que o ano de 1905, quando foram publicados os artigos paradigmáticos de Einstein, seja denominado de “ano milagroso” pelos cientistas?**

**Carlos Alberto dos Santos** – Esse termo vem do latim *Annus Mirabilis*, e já foi utilizado (no plu-

ral *Anni Mirabiles*) para se referir aos anos de 1664-1666, quando Newton realizou seus estudos sobre ótica. Acho que qualquer pessoa, por mais agnóstica que seja, sempre manifesta espanto com as grandes descobertas. Esse espanto é manifestado pela admissão de um “milagre”. Acho que é uma espécie de figura de linguagem.

## A ciência contemporânea ainda funciona de acordo com o determinismo cartesiano

*Entrevista com Alfredo Gontijo de Oliveira*

*Alfredo Gontijo de Oliveira é professor do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É mestre em Física pela UFMG, doutor em Física pelo Instituto de Cristalografia, Universitat Freiburg (Albert-Ludwigs), A.L.U.F., Alemanha, e pós-doutor pelo Imperial College Londres, IC, Inglaterra e pela Universitat Zurich, U.ZURICH, Suíça. Também é diretor do Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares da UFMG. Juntamente com Chaves, A.S. e Silva, C.E.T.G, é autor do livro **Proceedings of the Fourth Brazilian School of Semiconductor Physics**. Londres: Word Scientific, 1990.*

**IHU On-Line – As descobertas da física quântica são tidas como análogas à invenção da escrita. Em termos leigos, por quê?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – O que une os dois conceitos é que eles geraram grandes rupturas na história do conhecimento e da humanidade. Com a invenção da escrita, nossa memória pode ser aliviada para desenvolver atividades mais criativas. Criou-se também a base para a construção da cultura e da história, registrada em documentos. No final do século XIX, acreditou-se que a ciência havia chegado ao fim, com base na formulação das leis clássicas da física, para descrever as interações gravitacionais e eletromagnéticas com equações determinísticas que permitiam entender o passado, presente e “prever” o futuro. A física quântica veio subverter essa ordem, no sentido de introduzir um aspecto probabilístico. Somente podemos fazer previsões probabilísticas e,

mesmo essas, regidas por relações de incertezas. Outro aspecto é que, da mesma forma que a escrita abre novos níveis de Realidade para o conhecimento, a física quântica também o faz, ao unificar a realidade das manifestações ondulatórias com as manifestações corpusculares, trocando um “ou” por um “e”. Várias outras rupturas têm a mesma dimensão para o conhecimento. Na atualidade, eu citaria a revolução da informática.

**IHU On-Line – As evidências científicas acima referidas ainda são pouco compreendidas pelas demais disciplinas. Tal fato parece indicar a ausência de um debate transdisciplinar. Como iniciá-lo? Como o senhor avalia, de maneira geral, a postura das instituições responsáveis por tal iniciativa?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – A dificuldade com a física quântica está na compreensão de sua base conceitual. Como ferramenta de cálculo, ela mostrou toda a sua robustez e as previsões feitas pela teoria quântica foram comprovadas para além de qualquer imprecisão referenciada em parâmetro antropológico. A grande diversidade de formulações da física quântica é outro aspecto complicador de sua base conceitual. A interlocução entre áreas se dá pela transposição de conceitos e menos por aspectos matemáticos e funcionais da teoria. As unificações se dão pelas universalidades que as teorias contêm. As lógicas das formulações quânticas estão sendo utilizadas para fundamentar teorias nas áreas em que o conhecimento é complexo. Assim, o conceito de emara-

nhamento de estados quânticos (ou de uma forma simples, um sistema pode estar quanticamente em dois estados físicos diferentes, simultaneamente) tem sido utilizado para, metaforicamente, fundamentar novas lógicas harmonizadoras de contraditórios. Esse é o caso da “lógica do terceiro incluído” em que, existindo elementos A e não-A, existe também um elemento T que é simultaneamente A e não-A. Esse tipo de transposição pode ser feito metaforicamente entre várias áreas do conhecimento. O risco é que, em muitos casos, essas transposições metafóricas sejam feitas, violando os princípios básicos de uma das duas áreas e aí temos o que tem sido designado de “impostura intelectual”, ou seja, a transposição perde sua validade. No que se refere à incorporação desse debate pelo sistema educacional, temos algumas dificuldades. Primeiro: ele ainda é fortemente regido por práticas pedagógicas que encontram seus fundamentos na ciência do século XIX: linear, determinístico, individualista, competitivo, e várias outras características dessa natureza. Segundo: o ensino de ciências ressenete-se da falta de educadores preparados para levar uma mensagem cientificamente consistente à população. Temos também um enorme poder sedutor das tecnologias, que são vistas como brinquedos, advindo da aplicação da ciência contemporânea, ou seja, usufrui-se da ciência mais como se ela fosse um oráculo, inacessível ao cidadão. Provocativamente, eu pensaria em formular um conteúdo de ensino de física em que, independente da carga horária, ele estaria dividido em duas partes iguais de tempo. A primeira metade seria dedicada ao paradigma cartesiano (mais ou menos o estado da ciência do final do século XIX) de uma forma pedagogicamente correta, ou seja, trabalhando um “conjunto manuseável de exemplos”. A segunda metade se-

ria dedicada ao ensino da ciência contemporânea, ou seja, aquela do século XX com destaque para a física quântica, a ciência da complexidade, fenômenos não-lineares. Qual é a dificuldade para fazer isso? Trata-se de uma nova prática e a resistência será muito grande.

**IHU On-Line – Em linhas gerais, quais os principais debates da física na atualidade e quais serão seus possíveis reflexos na sociedade?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – Essa questão é muito abrangente e começarei fazendo uma abordagem também abrangente. Existe hoje aquilo que podemos chamar de as três principais frentes de trabalho científico: o muito grande (questões que envolvem, por exemplo, a origem do mundo); o muito pequeno (que cai no domínio da física quântica); e o muito complexo (que cuida de questões em que “o todo é mais que a soma das partes”). Um grande desafio para a física hoje é uma teoria que consiga “unificar” o muito grande com o muito pequeno. Entretanto, do ponto de vista antropológico, as questões do muito complexo é que parecem ser as mais interessantes. Por exemplo, como explicar o fenômeno da consciência? Na ausência de uma teoria reducionista que nos permita responder (no momento?) questões dessa natureza, resta-nos a opção de trabalhar leis da natureza, de forma empírica. As ciências biológicas fizeram isso com competência no século XX. Retornando à questão das transposições metafóricas, encontramos no conceito de *autopoiesis*<sup>31</sup>, gerado por Maturana<sup>32</sup> e Varela<sup>33</sup> na biologia, uma formulação que consegue estabelecer uma sólida ponte com a ciência da complexidade, que tem sido preferencialmente trabalhada por físicos. Ele consegue, também, estabelecer conexões com áreas das humanidades.

<sup>31</sup> O termo *autopoieses*, designa os processos de funcionamento de sistemas auto-organizáveis vivos, mas que engloba também outras dimensões, como processos sociais, produção de conhecimento e inteligência artificial. Foi criado por Humberto Maturana e Francisco Varela (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>32</sup> Humberto Maturana e Francisco Varela são biólogos chilenos. Entre outros, escreveram ***El Arbol Del Conocimiento***. Santiago do Chile: 1994. Editorial Universitária. Santiago do Chile, 1994 (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>33</sup> Francisco J. Varela (1946-2001): Ph.D. em Biologia. Nascido no Chile, foi diretor de pesquisas do Centro Nacional de Pesquisas Científicas (CNRS) no Laboratório de Neurociências Cognitivas do Hospital Universitário da Salpêtrière, em Paris, além de professor da Escola Politécnica, também em Paris. (Nota da **IHU On-Line**).

**IHU On-Line – Como o senhor analisa a transposição dos conceitos da física quântica para outros campos do conhecimento? Quais os limites desejáveis à transdisciplinaridade?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – Já abordei um pouco sobre essa questão da transposição. Gostaria mais de reforçar agora a necessidade de aprender ciência. Por exemplo, podemos nos questionar em que extensão os fenômenos biológicos (a consciência, por exemplo) são regidos pelas leis da física quântica. Nesse caso, seria importante uma mais ampla disseminação do mundo quântico para todas as outras áreas do conhecimento, para se fazer as apropriações metafóricas. Sobre os limites da transdisciplinaridade, eu gostaria de pensar que a inexistência de limites é uma de suas características. O estabelecimento de limites colapsa a transdisciplinaridade em disciplinaridade (com suas vertentes na multi e na inter). Nesse sentido, as metodologias transdisciplinares devem procurar trabalhar unificações abertas, no sentido de operar nos espaços vazios das disciplinas e no traspasseamento entre elas. Unificação aberta representa a impossibilidade de unificação absoluta. Trata-se de uma utopia? Talvez. Mas essa indefinição da transdisciplinaridade será, no mínimo, uma forte força propulsora das abordagens disciplinares levando as pessoas a trabalharem questões, problemas, temas, etc., com o olhar do outro. Rompe-se com o olhar individualista, mas preserva-se a individualidade que, como elemento de um coletivo, contribui para o surgimento de uma propriedade, segundo a qual o todo é mais que a soma das partes, como já foi mencionado.

**IHU On-Line – Qual é a sua opinião sobre o ensino da Física no Brasil? Em que medida ele corresponde à dimensão social que a Física assumiu?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – Na minha avaliação, o grande problema com o ensino de Física está relacionado com o conteúdo. Trabalhamos com conteúdos anacrônicos e, conseqüentemente, desinteressantes para professores e alunos. Essa situação tem um forte componente inercial. Por exemplo, na maioria dos cursos superiores, em que a Física é ensinada como ferramenta, o

ensino começa com cinemática e costuma não abordar a Física do século XX. Esta continua inacessível e hermética para o profissional formado na universidade. No século XX, a Física reinou como ciência emblemática: pela explicação da natureza na sua versão clássica, pela geração de rupturas como a produzida pela física quântica, pela metodologia de contrapor experiências e teorias e pela produção de uma base conceitual que permitiu que a engenharia produzisse dispositivos que disponibilizou inúmeros artefatos tecnológicos para a sociedade. No século XXI, esse papel da Física será mais sutil, por exemplo, mostrando que as teorias do muito complexo podem ser transpostas legitimamente para outras áreas do conhecimento.

**IHU On-Line – O senhor gostaria de acrescentar outros comentários?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – Acredito que, na segunda metade do século XX, a humanidade viveu uma ruptura conceitual que somente encontra similar na Renascença. Embora a base conceitual científica para fundamentar essa nova relação do homem consigo mesmo e com a natureza, já esteja razoavelmente bem posta, ela ainda não foi popularizada. Uma grande dificuldade é que, embora a ciência contemporânea já tenha em si o indeterminismo inerente das questões antropológicas, ela ainda funciona de acordo com o determinismo cartesiano. Várias tecnologias estão agora cuidando dessas questões e vemos, por exemplo, no estudo de “imagens inteligentes” uma nova dimensão com potencial de harmonizar a ciência e a tecnologia e criar as condições para a popularização da ciência. Temos um bom potencial para atingirmos uma ciência e tecnologia humanizadas, posicionando o homem como sujeito do fazer científico e tecnológico, e não o seu objeto.

**IHU On-Line – O que o senhor quer dizer, quando afirma que a ciência contemporânea “ainda funciona de acordo com o determinismo cartesiano”?**

**Alfredo Gontijo de Oliveira** – Essa é realmente uma questão crucial. Eu acredito que já tenhamos adentrado uma cultura em que a ciência já permite pensar de acordo com um novo paradigma.

Entretanto, os dispositivos e, conseqüentemente, a tecnologia daí advinda, é clássica, no sentido de satisfazer a lógica científica do século XIX. Por exemplo, embora tenhamos necessitado da física quântica para projetar o transistor, a lógica de funcionamento do transistor é clássica, mais precisamente, uma lógica buliana<sup>34</sup> de “sim ou não”. A

computação quântica, quando, e se, se tornar uma realidade, será exemplo de uma tecnologia baseada numa teoria do século XX (a física quântica). Como temos uma cultura que é muito mais fortemente determinada pela tecnologia do que pela ciência, afirmo que estamos ainda sob o império do determinismo cartesiano do século XIX.

---

<sup>34</sup> Trata-se do aportuguesamento do termo “booleana”, que designa os princípios da lógica booleana, criada pelo matemático inglês George Boole (1815-1864). A referida lógica oferece métodos para distinguir sentenças verdadeiras de falsas. Suas variáveis assumem apenas valores 0 e 1 – verdadeiro e falso (Nota da *IHU On-Line*).

## Inteligência artificial e robótica

*Entrevista com Farlei Jose Heinen*

Farlei Jose Heinen é professor e coordenador do curso de Engenharia da Computação da Unisinos. Graduado em Informática – Análise de Sistemas, pela Unisinos, com a monografia intitulada *Robótica Autônoma: Integração entre planificação e comportamento reativo*. Este trabalho foi publicado com o mesmo título pela Editora Unisinos, em 2000. O professor também é mestre em Computação Aplicada pela Unisinos, tendo sua dissertação o título *Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos*.

### ***IHU On-Line – Quais são os desafios contemporâneos da robótica e da inteligência artificial?***

**Farlei Heinen** – Apesar de todos os avanços da robótica e da inteligência artificial nos últimos anos, ainda existem muitos desafios pela frente. Um dos principais desafios é desenvolver a capacidade dos robôs interagirem com os seres humanos de uma forma amigável. Esta interação implica: melhorar a capacidade dos robôs nas áreas de reconhecimento de gestos, faces e voz; melhorar a capacidade de locomoção em ambientes construídos para pessoas (com escadas, elevadores, obstáculos, etc.); construir robôs capazes de lidar com situações inesperadas (que não foram previamente programadas). Outro grande desafio que a robótica e a inteligência artificial enfrentam, é a viabilização da aplicação prática das pesquisas realizadas nos laboratórios de todo o mundo. Permitir que a tecnologia restrita aos ambientes de pesquisa se transforme em algo de útil para a sociedade.

### ***IHU On-Line – Para que um robô imite o pensamento humano, ele precisa ser programado com uma lógica baseada em regras, como os computadores. Como o senhor poderia explicar isso a um público leigo?***

**Farlei Heinen** – A maioria dos robôs mais simples tem sua programação baseada em uma lógica de regras. Quando um robô é programado, utilizando-se regras, o programador deve informar todas as situações e ações necessárias para a execução das tarefas. Vamos imaginar um aspirador de pó robótico: este robô se moveria pela casa, aspirando a sujeira de forma autônoma; para que ele consiga executar esta tarefa (relativamente simples), são necessárias muitas regras. Um exemplo simplificado de regra seria em relação ao nível de bateria – SE (BATERIA FRACA) ENTÃO (ANDE ATÉ O RECARREGADOR). A própria ação ANDE conteria outras regras, e assim por diante. A quantidade de regras para executar, até os comportamentos mais simples, é enorme. Para viabilizar o desenvolvimento de robôs inteligentes, os pesquisadores têm desenvolvido diversas técnicas para aprimorar o processo de programação dos robôs. Podemos citar: Redes Neurais Artificiais<sup>35</sup>, Lógica Fuzzy<sup>36</sup>, Aprendizado por Reforço, entre outros.

### ***IHU On-Line – Existem exemplos de robôs inteligentes hoje? O que eles são capazes de fazer? Quais os maiores avanços nas pesquisas do Brasil e do mundo?***

**Farlei Heinen** – Utilizar a palavra “inteligente” para definir um robô ainda é motivo de muita



controvérsia. Podemos afirmar que atualmente existem robôs capazes de executar tarefas muito complexas, que exigem planejamento, cooperação com outros robôs, reação às situações inesperadas (situações para as quais os robôs não foram programados de forma explícita). Exemplos de comportamento inteligente podem ser encontrados em vários times de robôs que participam da RoboCup (Copa de Futebol de Robôs), em que os robôs precisam trabalhar em conjunto para conseguir ganhar as partidas. Outro exemplo é o projeto COG desenvolvido no MIT (Massachusetts Institute of Technology). COG é um robô construído para aprender pela interação com os seres humanos e com o ambiente. No Brasil, as pesquisas são desenvolvidas em várias áreas, podemos citar: navegação robótica, utilizando visão computacional, controle hierárquico de robôs, localização de robôs por mapas, entre outros.

***IHU On-Line – O que são as redes neurais e o mecanismo de estímulo/resposta em inteligência artificial? O senhor pode dar exemplos?***

**Farlei Heinen** – As redes neurais artificiais (RNAs) são uma das ferramentas utilizadas pelos pesquisadores da área de inteligência artificial para programar os robôs por meio de um processo similar ao pensamento humano. As RNAs são inspiradas nas redes bioelétricas do cérebro, formadas pelos neurônios e suas ligações (sinapses). Os robôs que utilizam redes neurais artificiais podem “aprender” um determinado comportamento ou tarefa. Este aprendizado ocorre por meio de exemplos: uma situação (ou estado) conhecida ou esperada é apresentada ao robô, ao mesmo tempo é dito ao robô que ação deve ser executada para aquela situação. Após apresentar várias situações, o robô já é capaz de reagir a todas as situações apresentadas, e ainda mais, é capaz de reagir inclusive a situações inesperadas, generalizadas por treinamento.

***IHU On-Line – Quais as previsões da robótica para o futuro próximo? É possível pensar que existirá, em breve, um robô capaz de entender atividades que somente um ser hu-***

***mano seria capaz de efetuar, como aquelas que envolvem tarefas de raciocínio, planejamento, estratégia e percepção?***

**Farlei Heinen** – A robótica tem evoluído muito nos últimos anos. Diversas aplicações, antes restritas aos ambientes de pesquisa, vem se tornando disponíveis para o grande público. Robôs humanoides capazes de dançar, animais de estimação robóticos que jogam futebol e são capazes de reconhecer o rosto do próprio dono, aspiradores de pó robotizados que limpam toda a casa sozinhos, entre outros.

***IHU On-Line – Quais as conseqüências da existência de robôs inteligentes para a sociedade?***

**Farlei Heinen** – A evolução da robótica, até o ponto de existirem robôs inteligentes, só deve trazer benefícios para a sociedade. Não acredito na visão fantasiosa de robôs, dominando o mundo ou tendo sentimentos como os seres humanos. É a própria sociedade que dita as regras da evolução tecnológica, e um robô inteligente só vai existir se isso for uma demanda real, uma necessidade para as pessoas. Sendo assim, os robôs inteligentes do futuro terão um papel muito importante, aumentando a qualidade de vida e permitindo que as pessoas direcionem seus esforços físicos e mentais para tarefas voltadas para a evolução do próprio ser humano.

***IHU On-Line – Qual a participação da Unisinos na pesquisa sobre robótica e inteligência artificial?***

**Farlei Heinen** – Na Unisinos, as pesquisas sobre robótica e inteligência artificial são realizadas pelo Grupo de Inteligência Artificial (GIA), composto por professores do Mestrado em Computação Aplicada (PIPCA) e pesquisadores colaboradores; pelo Grupo de Pesquisa de Veículos Autônomos (GPVA, que desenvolve pesquisa nas áreas de veículos inteligentes, visão computacional e sistemas de apoio ao motorista. O GPVA é formado por uma equipe multidisciplinar de professores das áreas de engenharia, computação e matemática. Mais informações em: <http://www.exatec.unisinos.br/~autonom> e <http://ncg.unisinos.br/robotica/>

## Um debate sobre o lugar do ser humano na imprevisibilidade imanente ao mundo

Mesa-redonda com Karen Gloy, Günther Küppers e Cirne Lima

**IHU On-Line** reuniu os professores doutores Karen Gloy, Günther Küppers e Carlos Roberto Velho Cirne Lima para um debate sobre a Teoria dos Sistemas, a Teoria do Caos e a Teoria da Auto-organização.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karen Gloy iniciou a sua formação na Universidade de Hamburgo, concluindo o doutorado e a livre-docência na Universität Heidelberg. É professora de Filosofia e História das Mentalidades na Universidade de Lucerna (Suíça) e professora visitante na Universidade de Viena (Áustria).

Günther Küppers é professor e diretor do Institut für Wissenschafts-und Technikforschung (IWT) da Universidade de Bielefeld (Alemanha). Estudou Física na Universität Würzburg e München. Posteriormente, obteve doutorado em Física Teórica e habilitação no campo dos estudos científicos pela Universität Wien. Suas áreas de pesquisa são a Física do Plasma, a Hidrodinâmica, a Filosofia e a História da Ciência, a Teoria dos Sistemas e a Teoria da Auto-organização. Entre outras atividades, Günther Küppers é membro da Associação de Cientistas Alemães, da Sociedade Americana de Cibernética e da Sociedade para os Estudos Sociais e da Ciência.

Cirne Lima é professor no PPG em Filosofia da Unisinos. É graduado em Filosofia pelo Berchmannskolleg, em Pullach (Alemanha), é doutor em Filosofia pela Universität Innsbruck, (Áustria) e livre-docente pela Universidade Federal do Rio

Grande do Sul (UFRGS). Entre seus livros publicados, citamos: **Realismo e Dialética. A analogia como dialética do Realismo**. Porto Alegre: Globo, 1967; **Sobre a contradição**. Porto Alegre: Edipucrs, 1993; **Dialética para Principiantes**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2002. As questões da mesa-redonda foram propostas pela **IHU On-Line**, e o debate foi conduzido por Cirne Lima.

**Cirne Lima** – Estamos aqui com a professora doutora Karen Gloy, da Universidade de Lucerna e da Universidade de Viena, e com o professor doutor Küppers, da Universidade de Bielefeld, para falar sobre a Teoria dos Sistemas, a Teoria do Caos e a Teoria da Auto-organização. Este encontro não é, então, uma investigação científica, nem uma palestra científica. Queremos, de forma unicamente jornalística, dar uma entrevista sobre uma temática já conhecida, sobre a qual repetidamente se diz algo, mas, na discussão, certamente emergirão alguns aspectos novos. Vou usar primeiramente a palavra e levantar a questão, esperando que os colegas respondam e, então, surgirá o colóquio. A primeira questão proposta é a seguinte: No cenário desenhado pelos novos estudos sobre as teorias dos Sistemas, do Caos e da Auto-organização, onde se posiciona o ser humano como “sujeito social”?

**Günther Küppers** – Esta é realmente uma questão difícil, porque há situações diferenciadas.

Numa posição extrema, se encontra Luhmann<sup>35</sup>, que exclui o ser humano do sistema social e que só concebe a comunicação como elemento e como princípio constitutivo de todos os sistemas. Aí o indivíduo praticamente não desempenha nenhum papel; o sistema social só se desenvolve pela comunicação e há um acoplamento – este é um termo técnico introduzido por Maturana<sup>36</sup>, – um acoplamento entre os sistemas psíquicos, que representam os indivíduos e os sistemas sociais, que determinam a vida social, as estruturas sociais e a dinâmica social. Esta é uma posição extrema que é criticada por muitas pessoas; eu, pessoalmente, penso que também se pode construir uma teoria de sistema social no qual se incluem indivíduos como elementos, ou seja, propor uma outra construção, diferente da de Luhmann. O que, então, promove esses sistemas sociais e promove seu surgimento? Minha proposta é a de que isso decorre da percepção de incerteza, uma incerteza que requer regulação, levando a que corporações sociais apareçam e comecem a dirigir e estipular determinados regramentos que são, então, aceitos socialmente e se tornam obrigatórios, estruturando a vida social, e, com isso, formam, como consequência, instituições sociais, iniciando uma escala temporal, uma dinâmica bem diversa do que a dos indivíduos que interagem nesses sistemas. Aí ocorre a possibilidade de que certos indivíduos particulares pertençam a sistemas sociais bem diversificados, subsistemas, como a sociedade, a política científica, a economia e outros subsistemas da sociedade. Entre estas duas posições, se movimenta a discussão, a qual, creio, não está definida. Cada um tem suas razões para argumentar por que a coisa é assim como é. Luhmann tinha assumido a posição de Maturana e posso me recordar da discussão entre Maturana e Luhmann,

em que Maturana diz claramente que sistemas sociais não são sistemas autopoieticos<sup>37</sup>. Aí já entra novamente a polêmica entre o que é *autopoiesis* e o que é auto-organização, e, se *autopoiesis* se distingue de auto-organização. A *autopoiesis* tem a propriedade adicional de que ela também tematiza o problema da autoprodução, deixando totalmente de lado a auto-organização, falando apenas da auto-estruturação. A paisagem teórica não é unitária, ela é polêmica, tendo cada um razões pessoais para sua posição.

### O duplo sentido do “sujeito social”

**Karen Gloy** – Talvez ainda se possa acrescentar algo significativo e fundamental sobre a relação entre o indivíduo e o sistema social. O sistema se constitui com base na ação conjunta dos indivíduos, ou o sistêmico, o sistemático, é algo novo, uma totalidade, e as partes individuais são apenas partes integradas desse, assim chamado, sistema?. Aí há posições diversificadas: se os indivíduos particulares formam um sistema social, ou se um sistema social é sempre uma determinada idéia ou interpretação, na qual as partes individuais se integram. Por exemplo, se temos um pensamento composto de muitas partes, o todo é, então, algo novo, que é um falar com uma linguagem em face das muitas partes individuais. E aí se poderia perguntar se o sistema de relações, chamado “indivíduo”, deveria realmente ser reduzido a dois sistemas, ou a um sistema que perfaz um organismo vivo, organismos um ao lado do outro, e o sistema seria, então, a idéia de uma comunicação e da vida em comum, o que, porém, está organizado de uma forma diferente da do organismo vivo. Isso ainda é uma problemática.

<sup>35</sup> Niklas Luhmann (1927-1998): sociólogo alemão. Filiado à Teoria dos Sistemas, sua obra incorpora influências, concepções que vêm das ciências exatas, especificamente da Biologia. Em 15 de março de 2005, no evento **Abrindo o Livro**, promovido pelo Instituto Humanitas Unisinos, o Prof. Dr. Leonel Severo Rocha, da Unisinos, apresentou **El derecho de la sociedad**, obra de Niklas Luhmann (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>36</sup> Humberto Maturana: biólogo chileno, criador da autopoiese e um dos propositores do pensamento sistêmico. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>37</sup> Os sistemas autopoieticos interatuam entre si sem perder a identidade. Referem-se à idéia de autopoiese, introduzida por Humberto Maturana e Francisco Varela (filósofo e biólogo chileno) como uma forma de organização sistêmica, na qual os sistemas produzem e substituem seus próprios componentes, numa contínua articulação com o meio. (Nota da **IHU On-Line**)

**Cirne Lima** – Tenho uma posição que é mais radical do que a dos meus colegas. Aqui se pergunta pelo sujeito social. E sujeito pode aqui ter duplo sentido: o indivíduo e o sujeito social como uma sociedade organizada. Eu começaria com o indivíduo, que é social. Na tradição, Aristóteles tomou o indivíduo como primeiro. E o indivíduo é social. E o social é carregado por dois indivíduos com base em uma relação, isto é, nós temos substâncias que são individuais, segundo Aristóteles, e, acima delas, temos uma relação, e este é o ponto crucial, que pode ser e, eventualmente, pode não ser. Isso significa que o social não pertence, necessariamente, a esta dimensão. Eu defendo exatamente a opinião oposta, que é apresentada por pensadores alemães, sobretudo por Hegel: o indivíduo singular só existe como nó de uma rede. Isso quer dizer que nem sequer podemos falar do indivíduo singular, sem que se fale simultaneamente do indivíduo social. Isso nem é possível. E Hegel, no primeiro capítulo da *Fenomenologia*<sup>38</sup>, mostra que o singular nem sequer pode ser pronunciado, mas só pode ser apontado com o dedo. Quando se pressupõe que o indivíduo sempre é somente um nó numa rede, deve-se perguntar, em segundo lugar, quais são os fios que amarram esse nós. Bem. Estes fios são hoje explicados pela Teoria dos Sistemas e pela Teoria da Auto-organização. A Teoria dos Sistemas consiste, se o expressarmos matematicamente, de seis séries de conjuntos teóricos, portanto uma grande quantidade, que tem uma estrutura, e indivíduos no sentido da modernidade, no sentido de Aristóteles, mas uma estrutura, um exemplo clássico típico para um conjunto. Por exemplo, o conjunto de todos os suíços no qual se pode considerar um subconjunto. Por exemplo, todos os suíços que fumam. Considerar um outro conjunto e aí o dos suíços que não fumam seria automático, mas nós podemos considerar, por exemplo, todos os suíços

que zumbem. E assim se pode hoje, pela Teoria dos Conjuntos, chegar mais perto do indivíduo. Se Baumann<sup>39</sup> quer, então, nomear o indivíduo como singular, isso não funciona. Nem no idealismo alemão, nem na Filosofia analítica<sup>40</sup>, segundo Quine<sup>41</sup> e alguns dos melhores seguidores da Filosofia analítica. Portanto, o indivíduo singular, como o entendemos cotidianamente, ele, tu, isso não existe. Não pode ser pensado, nem pode ser expresso. Por conseguinte, só há indivíduos sociais. E estes indivíduos sociais só podem subsistir numa rede. E esta rede, do ponto de vista científico, são conjuntos que estão organizados, e cada conjunto tem naturalmente sua característica, que é um predicado e é universal. Por exemplo: os suíços que fumam. E estes indivíduos só são captados por aquilo que está acima. E quando vários conjuntos se misturam, temos, assim, esta colorida mistura que é a nossa sociedade. Se nós, agora, com nossos atos de vontade, estabelecemos conexões entre os subsistemas, então temos, como é ensinado na Teoria dos Sistemas, a hierarquia dos sistemas, em que há um sistema superior e globalmente abrangente, e neste, muitos subsistemas, nos quais o indivíduo singular no sentido clássico desapareceu, sendo cada indivíduo social. E agora, social no sentido moderno, em que somos solidários com outros, é consequência, quando a percebemos que estamos nessa rede, que, quando a destruímos, também somos destruídos. É bem este o pensamento que se adiciona.

**Karen Gloy** – Posso contradizer um pouco? As consequências deste modelo são certamente muito perigosas, enquanto o indivíduo, segundo o velho princípio clássico, é concebido como inefável, é inominável, é indizível, é totalmente determinado. Falamos agora de um indivíduo inserido numa função, definimos o indivíduo como um nó, com um complexo de funções, e aí existe o perigo de se poder manipular o indivíduo. E estou na

<sup>38</sup> *Fenomenologia do Espírito*, obra de Georg Wilhelm Friedrich Hegel, publicada originalmente em 1807. No Brasil, foi publicada parcialmente na coleção *Os pensadores*. São Paulo: Abril, 1980. Uma edição integral foi publicada pela Editoras Vozes, de Petrópolis (RJ), em 1997. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>39</sup> Martin Baumann: filósofo e teólogo alemão. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>40</sup> A filosofia analítica tem como foco principal a linguagem e é também denominada filosofia da linguagem. Destaca o papel da Filosofia como investigação, apoiada nos desdobramentos da linguagem. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>41</sup> Willard Van Orman Quine (1908-2000): filósofo estadunidense. (Nota da *IHU On-Line*)

pesquisa do indivíduo no sentido clássico, como *zôon politikón*, no conceito aristotélico-platônico, no qual o indivíduo, ou o ser humano, é um ente político, social, e também só pode ser pensado no campo, na convivência com outros indivíduos. O progresso para a modernidade foi o acento na teoria da subjetividade, que constatamos no idealismo. Naturalmente, então, o sujeito é egocêntrico, tem sentimentos de expansão, sendo a função social deixada para o segundo plano. A liberdade e responsabilidade, porém, estão sempre vinculadas ao sujeito, e não a um complexo de distribuições de funções. O indivíduo quase submerge nestas diversas funções que foram determinadas ou na máscara (que era o sentido originário de pessoa). Eu, por conseguinte, considero um tanto perigoso dissolver a liberdade e a responsabilidade do indivíduo numa rede onde o indivíduo é apenas um ponto nodal de diversas relações. Isso talvez seja uma concepção que propriamente não pertence à nossa cultura, que o Oriente talvez conheça bem, onde se leva em consideração o outro, mas toda a nossa tradição foi a acentuação do indivíduo, e não sua anonimização e massificação. Nisso vejo um certo problema, se esta é sua opinião sobre a referida teoria.

### **O surgimento do social como processo de regulação**

**Günther Küppers** – O que me agrada é a representação da rede e dos nós. Não me agrada que isso seja pensado em termos de estrutura. E nós aprendemos que passamos da estrutura para processos. Aí precisamos entender como surge e como se desenvolve isso. O social, se assim o quisermos, é uma conquista da evolução. Não esteve desde o começo no mundo. Em determinado momento, o social surgiu como sistema de conhecimento e é preciso perguntar como, pois há muitos indivíduos biológicos, animais que não vivem socialmente; outros, que já o fazem... Isso não é uma característica que só atinge o homem, e eu creio que o social veio ao mundo naquele momento – é

quase uma quebra de simetria, se o posso expressar assim – quando o homem faz uma distinção entre si e todos os objetos, ou entre os objetos que ele encontra no ambiente, destaca um objeto que é como ele e que poderia ser ele. E nisso imediatamente descobre um risco assustador, o risco que, com os mesmos objetivos, ele pode utilizar os objetos do meio ambiente para seu próprio proveito, explorá-los, etc., e então, ao descobrir que há, no ambiente, um objeto que é como ele, imediatamente se sente obrigado a fazer um manuseio de risco. E, nesse manuseio de risco, ele precisa estabelecer regras sociais. Ele precisa tratar de entrar numa discussão com o outro, chegar a um acordo, que, em tal ou tal caso, aja de tal ou tal maneira. E isso inicialmente é bem elementar, o surgimento do social como um processo realmente complexo de regulação, e o social só atua onde – e aí a idéia da rede é muito boa – há tais processos de regulação, e, na minha linguagem, se trata da redução de insegurança, de risco de qualquer espécie. O primeiro também foi uma forma de insegurança. Precisamos, realmente, manter separados os sistemas psíquicos, os sistemas sociais, também o homem como sistema típico e em sua individualidade. O problema é apenas que, no social, se tem muita dificuldade de decidir qual é propriamente o meu sistema psíquico, pois estamos socialmente contaminados. Quando eu desejo um automóvel, eu não sei se o desejo como Günther Küppers ou como vítima de uma sociedade de consumo. Isso significa que traçar limites entre o sistema social e o individual, o psíquico – e aí ainda se acrescenta o sistema cognitivo –, é muito difícil, porque o social tem precisamente um efeito muito amplo, não há quase nada que não se precise regular socialmente. E por isso eu diria que esta rede com os nós é uma imagem muito bonita, quando ela é concebida dinamicamente. Neumann<sup>42</sup> diria que aí ainda haveria sempre uma reserva, porque o diverso dá o sistema típico, a outra dinâmica surgiu simplesmente porque o sistema cognitivo podia observar-se a si próprio e, dessa forma, se tornou consciente de si. Desta auto-observação de si surgem os conceitos

<sup>42</sup> John von Neumann (1903-1957): matemático húngaro. (Nota da *IHU On-Line*).

de eu, de si mesmo e de estranho. Temos situações muito complexas em que se formaram, no decurso da evolução, o que hoje descrevemos como psique, cognição e social.

**Karen Gloy** – Posso fazer uma pergunta? Nós partimos do fato de que um sistema social é um produto emergente, isto é, você parte do individual. Mas, com Buber<sup>43</sup>, também posso partir da dualidade, da relação eu-tu. Primária é a família e ela já é um sistema elementar, antes que o sistema social aflore.

**Günther Küppers** – Se assim o queres, o social se constitui da relação eu-tu. Eu reconheço no ambiente alguém que é como eu: tu. E segundo isso, devemos falar. Esta é a fonte do social. E agora acresce que contactamos com maior número, surgindo unidades como a família, o clã etc. em que sempre novos sistemas sociais surgiram - e, sob certas circunstâncias, até desapareceram de novo, - porque eles precisavam regular determinadas coisas. Muitas vezes, também ocorre que sistemas sociais se cindem. Por exemplo, a nova ciência surgiu, porque o sistema “eu sei o que creio e eu creio que eu sei” se bipartiu, e fé e certeza se tornaram, de repente, duas coisas diferenciadas, em que a certeza, pelo acesso experimental, se tornou uma atividade operacional. E aí a ciência podia dizer: “não temos nada a fazer com vocês, com a fé, mas nós temos competência social para aquilo que realmente é”. Aí temos os aparelhos, as teorias, os conceitos que, de certa forma, permitem responder a essas questões. Contudo, constatamos que surgem sempre novas tipologias de incertezas, que conduzem à diferenciação de novos sistemas sociais e que determinadas incertezas entraram em descaminhos, e isso significa que sistemas sociais desaparecem. Aí temos algo tremendamente dinâmico, podendo se dizer que sociedade é algo que abrange todos os sistemas sociais. Não sei se isso teria sentido; mas, ao menos, teria sentido dizer: há estes múltiplos sistemas sociais em que todos se organizam com base no manuseio de determinados problemas de risco, que existem e operam para este período, que,

pela dinâmica da percepção e da regulação, conduzem sempre a modificações, novas ocorrências do meio ambiente, que conduzem a novos tratamentos de incertezas. Assim, temos sistemas sociais muito dinâmicos, e o indivíduo é, nesta rede, o nó naturalmente é avassalado e superestimulado pelo social e, muitas vezes, nem sequer consegue mais decidir se é ele que está em questão, ou a sociedade.

**Cirne Lima** – Estou de acordo com quase tudo. Converge para aquilo que eu disse antes e o que disse Karen no final. Ela falou primeiro do indivíduo, da posição aristotélica, mas, em seguida, ela falou da relação eu-tu introduzida por Buber e o que eu queria propor era precisamente isso. Portanto, a relação institui o indivíduo singular. Nem sequer posso ter o indivíduo singular fora da relação, e por isso, a rede, e por isso, os subsistemas. Eu penso, pois, que aquilo que popularmente chamamos de indivíduo é um subsistema, constituído de subsistemas inferiores, subsistemas, sangue, pulmão, respiração, digestão, as bactérias que estão em nossos intestinos... No momento em que nos encontramos com o outro, temos uma espécie particular de conexão de dois subsistemas. E aí surgem as diversificadas tensões e relações que Günther mencionou. Entretanto, eu faço uma distinção: penso que os sistemas sociais não podem ser concebidos apenas no sentido estrito em que o pensaram meus dois colegas. Tomamos “social” em sentido literal: o social é de homem para homem. Onde não há homens, não existe o social. Minhas relações com meu cachorro não são sociais. E eu penso que hoje precisamos ampliar a palavra social, não só sobre os cães, não só sobre os macacos no jardim zoológico, mas também em relação às plantas, aos rios: aí se encontra a raiz da ecologia, porque o social, em sentido real, é o sistema global. Não no sentido estrito, e meus dois colegas o tomaram nesse sentido, e, em sentido estrito, não consideraram que há ulteriores subsistemas, concebendo o social, a meu ver, em sentido muito restrito.

<sup>43</sup> Martin Buber (1878-1965): filósofo judeu-polonês. (Nota da **IHU On-Line**).

## A insustentável distinção entre acaso e necessidade

**Karen Gloy** – Isso é muito interessante, mas é a posição de Hegel do eu perante a natureza. Para mim, é a introdução do pensamento ecológico, porque, para Hegel, a natureza é o outro de mim mesmo, é a alteridade que, na base, é o mesmo sistema que é o eu, só que na alteridade (diversidade). Se desta forma não se considera a natureza como algo estranho, mas como um sujeito, só que um outro, então se chega ao pensamento ecológico, e não se pode mais operar mecanicisticamente com a natureza, manipular, dirigir, como cientistas naturais fazem experimentalmente, tornando a natureza, como diz Heidegger, uma “armação” (Gestell). Aí se assume outra relação, e este sistema de relações parece ser sua concepção da Teoria dos Sistemas com base em Hegel, se bem o interpretei.

**Günther Küppers** – Brevemente, para evitar um mal-entendido: eu ampliaria o social, porque me parece que isso inclui os animais, e o pensamento me parece interessante de ampliá-lo também para a natureza, vendo-o como um todo, o que então nos ajuda no trato com a natureza.

**Cirne Lima** – Temos, pois, aqui, uma concordância recíproca, o que é raro. O que até aqui discutimos é a ponta da pesquisa sobre a Teoria dos Sistemas. Mas temos outra pergunta sobre caos e auto-organização, se eles estão inter-relacionados. O professor Küppers poderia fazer uma pequena síntese?

**Günther Küppers** – Quando se levanta a questão sobre a constatação da pesquisa do caos, se poderia dizer, primeiramente, que distinções que fazíamos antes não são mais sustentáveis: a distinção entre acaso e necessidade, saber e ignorância, ordem e desordem; que o mundo deve, por assim dizer, ser ordenado de outra maneira. A pesquisa sobre o caos mostrou que o conceito desta distinção entre necessidade e acaso se referia sempre ao que era irregular, atribuindo-o ao acaso. E hoje se levanta a questão se realmente existe algo como o acaso, se isso pode ter sentido. A pesquisa sobre o caos mostrou que sistemas bem determinísticos, que transcorrem segundo ri-

gorosas regulamentações, por pequenas variações em sua dinâmica interna, mostram em seus parâmetros uma conduta totalmente caótica, aparentemente casual, tornando-se, assim, alheios ao cálculo e imprevisíveis. A velha concepção que se possa encarar o mundo como uma espécie de relógio, onde se lê o transcurso do tempo, podendo a partir de um momento posterior calcular o tempo, se demonstrou como demasiado serial e simples, pois há uma imprevisibilidade que é imanente. Sempre se acreditou que há âmbitos do mundo sobre os quais não sabemos ainda o suficiente. Por exemplo, nos sistemas sociais: há tantos indivíduos que podem fazer tantas coisas e uns o fazem de um modo e outros de outro, e dessa forma são colocados limites ao saber. Todavia, há a concepção de que podemos acumular suficientes conhecimentos, estabelecendo estações de mensuração, podendo, em última análise, predeterminar tudo. A concepção clássica da meteorologia, há uns trinta anos, era a de que se podia espalhar pelo planeta estações de medição que nos permitiriam calcular o clima não só para três dias, mas para um mês, e assim por diante. Isso se demonstrou como falso. Precisamente por esta razão, a imprevisibilidade que inabita o caos, que inabita a complexa dinâmica regulamentada, que é suficientemente complexa, esta imprevisibilidade é inerente e não pode ser afastada por nenhum processo. Não há possibilidades sistêmicas de contorná-lo ou solucioná-lo por uma futura teoria melhor, que um dia poderíamos sabê-lo – isso jamais saberemos. Há, porém, um segundo efeito, o da auto-organização, que está diretamente relacionado com o caos, no sentido de que ele causa o contrário, que conecta coisas entre si, mas também liga coisas estruturais a conexões não-lineares. E existe a possibilidade de que esta dinâmica auto-organizadora, na qual causa e efeito se condicionam e se conectam reciprocamente de modo circular, fazendo surgir situações ou estados ordenados que são muito simples e que também apresentam uma dinâmica muito simples e que, de maneira simples, também são predizíveis em seu desenvolvimento, mas sempre ainda correm o risco. A auto-organização ainda tem em si determinados momentos, determinados pontos em

que o desenvolvimento espontaneamente passa de um estado para outro, passa de uma ordem para outra, mas também pode passar de uma ordem para um estado caótico. E que a coisa é assim, mostram, por exemplo, hoje os grandes modelos que temos sobre a pesquisa climática, e as simulações climáticas que seriam impossíveis, se não houvesse na natureza a redução de complexidade, de modo que podemos imitar essa dinâmica no computador, não calculá-la, veremos como o desenvolvimento de tais complexos sistemas se desenvolve nos últimos 30-40 anos. Estamos neste ponto e há grandes problemas, auto-organização e caos são dois momentos reciprocamente confrontados.

**Karen Gloy** – Nós introduzimos a Teoria dos Sistemas como inovação. Quando, de certa forma, abrangemos historicamente a Filosofia e temos os conceitos de necessidade e acaso, não vejo nesta teoria evolucionária muita diferença em face da combinação de necessidade e acaso. Não se trata de um sistema linear, de um determinismo, em que se pode prever tudo, mas as mutações que surgem e que descrevemos como imprevisíveis ocupam a posição do acaso. De modo que temos agora sistemas dinâmicos, sistemas evolutivos que se auto-organizam, mas que, de certa forma, mantêm as velhas concepções de acaso e necessidade. Não vejo verdadeiro progresso nisso. Ainda poderíamos dizer, e sobre isso já discutimos, que a evolução transcorreu darwinisticamente e que, com base no meio ambiente, ele forneceu os critérios que melhor se adaptam a um sistema, segundo suas mutações, ou não. Agora, estes sistemas que se autodesenvolvem e auto-organizam e que novamente se tornam instáveis,

entram em colapso e conduzem a novos sistemas. Eu não vejo, porém, que, na Teoria do Caos, seja pensado algo novo, que esta combinação de necessidade e acaso também conta com imponderabilidade e imprevisibilidade de tipo sistêmico. E assim falamos de uma auto-organização do sistema sob estas condições.

## A origem da Teoria dos Sistemas

**Cirne Lima** – Meus colegas não abordaram a origem da Teoria dos Sistemas e da Teoria do Caos. A Teoria dos Sistemas surgiu em Viena, nas mãos e na cabeça de um zoólogo, que tinha estudado Filosofia, de nome Ludwig von Bertalanffy<sup>44</sup>. Ele viajou ao Canadá e aos Estados Unidos e, com outros colegas, viu que tudo isso deve ser pensado conjuntamente, senão não teria sentido. Devemos lembrar que isso ocorreu precisamente na época da construção da bomba atômica, e a pesquisa de ponta teve, então, problemas que precisavam ser solucionados. E Bertalanffy e a Teoria dos Sistemas tinham avançado muito nas pesquisas e Küppers trouxe agora bastantes informações a respeito. Mas Bertalanffy não é o pai da Teoria dos Sistemas. Ele escreveu um livro sobre a Teoria dos Sistemas cujo tema é o cardeal Cusanus<sup>45</sup>, da grande Renascença, neoplatônico, e que hoje ninguém conhece. Bertalanffy não apenas fez uma longa introdução, mas também uma tradução ampliada, e só então, por meio de Cusanus, ele entendeu o conceito de unidade. E o pensamento da unidade é bem simples. Meus colegas falaram profissionalmente; permitam-me falar bem brasileiroamente. O que é um sistema, dito

<sup>44</sup> Ludwig von Bertalanffy (1901-1972): autor do livro *General systems theory – Essays on its foundation and development*. New York, 1968. Tradução francesa: *Théorie générale des systèmes: physique, biologie, psychologie, sociologie, philosophie*. Paris. 1973. Publicou também *The Theory of open systems*, General System Yearbook. 1956. A primeira edição brasileira de *Teoria Geral dos Sistemas* foi publicada pela Editoras Vozes, de Petrópolis (RJ), em 1968. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>45</sup> Nicolau de Cusa (1401-1464): teólogo alemão. Secundou a ação dos papas na Alemanha. Foi educado com os *Irmãos da vida comum* em Deventer, onde sofreu a influência do misticismo alemão. Estudou na Universidade de Heidelberg, foco de nominalismo, e na de Pádua, onde aprendeu Matemática, Direito e Astronomia. Ordenado padre, teve parte notável no concílio de Basiléia (1432). Foi legado pontifício, cardeal, bispo. Viveu seus últimos anos na Itália. As obras fundamentais de Nicolau de Cusa são três: *De docta ignorantia*, *De conjecturis*, *Apologia doctae ignorantiae*. As fontes prediletas e principais são o misticismo alemão (Mestre Eckart), o platonismo e o neoplatonismo cristão e os autores de tendência neoplatônica, em geral. (Nota da *IHU On-Line*)



de um modo que um brasileiro possa entendê-lo? Um jogo de futebol. No jogo de futebol, temos onze jogadores de um lado e onze jogadores do outro, uma bola, um juiz, um campo, duas goleiras... Isso é um jogo de futebol? Não. Um habitante de Marte que venha para cá, diria: bobagem: por que ele não segurou a bola com a mão? Se pensarmos no famoso gol de Maradona, em que “a mão de Deus” teria “chutado” a bola no gol... O que acontece num jogo de futebol? Além da movimentação do jogo que se pode fotografar e filmar, há regras, princípios, que não se podem fotografar, que se precisa observar e extrair dos fatos e expressar. Isso é um sistema. O sistema não é apenas a soma das partes, mas uma ordem que organiza essas partes. E isso resulta no que meus dois colegas comentaram. E sistema não é apenas uma invenção da modernidade, do século XX, ou de Bertalanffy; não, sistema é um problema neoplatônico, uma solução neoplatônica para conduzir o mundo a uma unidade. Isso já vemos em Platão, no **Timeu**, é bem claro em Plotino, e a idéia da emergência do novo já encontramos além de Plotino, em Aristóteles. São velhas traduções que sintetizamos e passamos para a linguagem das ciências modernas, e vejam, a velha Filosofia se adapta exatamente às modernas ciências, e resolve problemas que a ciência moderna não resolveu. Por exemplo: o que significa um ser vivo? Este era um problema sem solução até a chegada de Bertalanffy. E assim em outros campos. O que o colega de Bielefeld mencionou sobre o clima: há um americano, Williams<sup>46</sup>, que é o primeiro homem na história mundial que tem suficiente capacidade computacional. E, como havia a guerra, era tremendamente importante que os lançadores de bombas soubessem exatamente que clima faria. Os americanos investiram, então, somas fabulosas em pesquisa meteorológica. Assim se pode dizer: “O.K., Williams nos fará tal mapa meteorológico, que nos permite bombardear com toda exatidão os nossos alvos”. E o que Williams descobriu? A Teoria do Caos. Uma curva de formas bem simples, que, com um pequeno movimento,

faz uma bifurcação. Matematicamente, desde Platão, não se sabe como surge isso. Apareceram curvas caóticas, o que, para o cientista, foi um choque. Todos ficaram chocados, mas no momento em que Williams o propôs, e Robert May<sup>47</sup> descobriu que a população das abelhas age exatamente segundo esse cálculo, se começou a adotar a Teoria do Caos em todos os campos e obter êxito. Muitos problemas não resolvidos e engavetados pelos cientistas, estão vinculados à Teoria dos Sistemas e acoplados à Teoria do Caos. Muitos falam bobagens sobre a Teoria do Caos, mas ela é bem determinada, algo determinístico, feito em computador, e um simples cálculo, se ele é suficientemente repetido, não só despertará bifurcações platônicas, mas também uma linha caótica que passa depois para uma nova ordem e não podemos dizer previamente qual. E por isso a vida é tão complicada, e o homem e a sociedade são tão complicados, porque, a cada momento, este fenômeno é redespertado. E a velha maneira de pensar desapareceu completamente: se conhecemos todas as leis e se reconhecemos o ponto de partida de um sistema, podemos prever tudo. Isso merece ser pensado e revisto por meio desta teoria. Este é um passo gigantesco na ciência e é um ponto em que Ciência e Filosofia se aproximaram loucamente, inclusive no âmbito da necessidade, da contingência e da liberdade, porque a liberdade é a emergência do novo. E a liberdade se exerce neste espaço onde algo surge pela emergência do novo.

### **“A novidade da Teoria dos Sistemas é a sua constante neo-organização”**

**Karen Gloy** – Na história da Teoria dos Sistemas, há diferenças fundamentais, de modo que não se pode reconduzir tudo à opinião clássica, antiga. A Antigüidade foi de opinião de que não há nada de novo debaixo do sol. Em Platão, o sistema se auto-relaciona e se conserva a si próprio, e não se modifica, e não se gera a si próprio. Na

<sup>46</sup> Garnet P. Williams: meteorologista estadunidense, formulador da Teoria do Caos. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>47</sup> Robert May (1936): biomatemático australiano radicado nos Estados Unidos. (Nota da **IHU On-Line**)

forma aristotélica, um homem gera um homem. Até Cusanus... são sistemas estáticos, que se auto-conservam e auto-reproduzem. E o novo na Teoria dos Sistemas é este pensamento do desenvolvimento, esta constante neo-organização que é instável, que requer fluxos de equilíbrio, a reconstituição de algo estável ou a busca por um estado estável que também pode ser ultrapassado. Creio que este é o aspecto inovador dos séculos XIX e XX, desde que Bertalanffy e o Círculo de Viena<sup>48</sup> desenvolveram esta Teoria dos Sistemas, que trata de sistemas dinâmicos que não se auto-repetem em determinados lapsos de tempo, mas que, no todo, perfazem desenvolvimentos e que buscam sua estabilidade pela auto-reprodução, porque são determinados pelo ambiente ou por fatores internos que os fazem perder o equilíbrio. Este é o aspecto novo, que vai além da História, da Antigüidade e da Idade Média: o fato de que temos esses sistemas dinâmicos, fluidos, não tendo, para isso, uma prefiguração na tradição. Somente com o historicismo, no século XIX, emergiu a historicidade de sistemas, que também passa para outros âmbitos, de modo que já não falamos “da” ciência com “tais” critérios científicos, mas de um desenvolvimento, de uma evolução, de uma substituição de paradigmas, como Kuhn<sup>49</sup> os chamava, ou como quer que queiramos denominar. Portanto, brevemente: não a automanutenção de um sistema, no sentido do sistema estático, mas a busca de novas formas de organização, já que o mundo se tornou extremamente complexo, e talvez sempre o tenha sido, mas que agora deve ser integrado na maneira de pensar. Este me parece o pensamento inovador da Teoria dos Sistemas.

**Cirne Lima** – Não estou em tudo de acordo com o que Karen Gloy disse. Acrescentarei outros aspectos sobre a diferença entre o antigo e o moderno. Segundo Platão e Plotino, por exemplo, havia uma evolução, havia um processo, só que

este processo era inverso. Em Platão, e sobretudo em Plotino, se partiu do Ser mais perfeito que estava bem no alto, e quanto mais fundo se descia na pirâmide, menos perfeição havia, menos ordem, menos necessidade. Isso hoje é precisamente o inverso. Nosso ponto de partida não é a perfeição, o *kalón kai agatón* de Platão, ou de Aristóteles; no Timeu de Platão, não se tinha tanta certeza, já havia duas perspectivas, mas, em seu todo, se partia do mais perfeito para o menos perfeito, até o ínfimo. E hoje o movimento é praticamente inverso. Partimos de dados que são muito simples, e esta é praticamente a definição da Teoria do Caos: formas bem simples, se elas são suficientemente repetidas, e isso só se pode fazer em computadores, geram imagens e estruturas de uma riqueza que nem sequer se pode imaginar. E essa é, então, uma tremenda diferença. Penso que, na Antigüidade, havia uma evolução, só que se partia do perfeito para o imperfeito. Agora o invertemos e esta inversão coloca os colegas, pois eu sou puramente filósofo, ou ante um dilema, ou ante uma solução: porque os colegas físicos, até o século XVIII sempre esperaram, no mais íntimo do seu ser, que cada processo fosse reversível. E então um vienense que elaborou a estrutura do gás, Boltzmann<sup>50</sup>, viu que o mundo é temporalmente orientado. Não se pode inverter o tempo.

**Karen Gloy** – Ele também assumiu a posição inversa. É puramente subjetivo o que Boltzmann diz. A lei da entropia e sua inversão. Isso é meramente subjetivo. Assim como o homem na terra está acostumado a se ver como ponto central, em baixo e não em cima, assim também se pode inverter o tempo. São intervalos muito pequenos que se observam, e era esta idéia do equilíbrio a que se tendia, mas o próprio Boltzmann concordou com a inversão, que há leis meramente subjetivas da entropia presentes na termodinâmica.

<sup>48</sup> Movimento filosófico originalmente austríaco, criado de uma corrente de pensamento intitulada positivismo lógico, reagindo à filosofia idealista e especulativa. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>49</sup> Thomas Kuhn (1922-1996): historiador da ciência e epistemólogo estadunidense. Escreveu *A estrutura das revoluções científicas*, publicado no Brasil pela Editora Perspectiva, de São Paulo. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>50</sup> Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906): matemático e físico austríaco, Sistematizou o conceito de entropia, segundo o qual há uma tendência natural de a energia se dispersar e da ordem evoluir invariavelmente para a desordem. Explica o desequilíbrio natural entre trabalho e calor. (Nota da *IHU On-Line*)

**Cirne Lima** – Quem, então, teria descoberto a flecha do tempo, se não Boltzmann?

**Günther Küppers** – Mas o problema ainda continua não-resolvido. Nivelamentos cinéticos de gás também são considerados na mecânica como choques entre partículas. É uma dinâmica relativa. Pela mediação para uma descrição macroscópica, em que o conceito de entropia realmente pode ser descrito, em que, havendo muitos conjuntos, muitas possíveis distribuições alternativas, ela introduz sua irreversibilidade, isto é, sempre ainda temos o problema de entender, como entra, no puro movimento mecânico, no qual nada mais há do que os gases com determinada velocidade se chocando em determinadas velocidades e determinadas distribuições no espaço, como acontece, de repente, que nunca esses gases se juntariam num canto deste espaço? Isso é uma irreversibilidade. Prigogine<sup>51</sup> colocou fortemente em primeiro plano esta descoberta da irreversibilidade, quando, durante séculos, se admitiram estados de equilíbrio, quando determinada força atua sobre algo. Estados de ordem só se reconheciam em situações de equilíbrio. A descoberta de Bertalanffy inverteu o sistema de relações ambientais e apontou para a abertura dos sistemas. Constatou-se, de repente, que a vida como tal, a dinâmica como tal, e tudo que realmente podemos observar aqui na Terra, ocorre em processos e no desequilíbrio. O desequilíbrio é permanente e dinamicamente livre, quer sempre nivelar-se. Todo desequilíbrio procura conquistar nivelamento e precisa ser externamente conduzido pelo meio ambiente, compensar o desgaste e trazer energia e matéria para este estado. Estes são os sistemas produtivos, sistemas de equilíbrio podem ser estruturados ou caóticos, eles estão mortos e neles nada ocorre; deve-se bater neles com o martelo para algo acontecer. Nos sistemas de desequilíbrio está a música.

Quanto ao progresso na concepção: naturalmente havia também, na Antigüidade, o conceito de sistema, e o problema era visto com muita cla-

reza: como as partes se juntam num todo, o que então preenche uma certa finalidade. Como ocorre isso? Por exemplo: a mão, ou a cabeça, ou o Estado, etc., quando há muitos fenômenos. Isso já se viu na Antigüidade. Mas não se tinha a mecânica, via-se o fenômeno, mas não se sabia como as partes e o todo se conectam, se condicionam mutuamente e como se pode dizer que o todo é mais do que a soma de suas partes? Essa é uma sentença muito estranha, que também foi formulada por Aristóteles, e a moderna pesquisa do caos e da auto-organização mostrou precisamente que isso se encontra na não-linearidade das ações e efeitos recíprocos. A não-linearidade dá a idéia de que as partículas não estão mais interconectadas de forma determinista, mas se encontram como num cordão de borracha: se puxo num lado, não vão junto algumas partículas vizinhas. Há também a possibilidade de que perturbações críticas, de repente, se ampliem e se estendam pelo cordão de borracha para todo o sistema do qual preciso mudar o arranjo. E eu considero isso o novo que se acrescentou pela Física, por esses sistemas, por essa energética etc. e tudo o que tem a ver com a auto-organização.

## O conceito de Teoria dos Sistemas substituiu a lógica

**Cirne Lima** – O professor Küppers falou agora de maneira bem complicada. E eu gostaria de dizer a mesma coisa de maneira bem simples. Segundo Boltzmann, de maneira anedótica, o desenvolvimento do mundo seria para baixo. Estaríamos agora dependendo tanto calor, que caminharíamos para a morte, e morte gelada. E o mundo se direcionaria de tal modo que cada físico poderia calcular que o fim do mundo chegará, quando o frio for total. Entretanto, foi muito bem frisado que o novo, na auto-organização, é que, além dessa força que puxa para baixo, para a morte térmica, há uma outra força que conduz para cima,

<sup>51</sup> Ilya Prigogine (1917-2003): cientista de origem russa Recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1977. Na 62ª edição, de 2 de junho de 2003, **IHU On-Line** dedicou-lhe a editoria *Memória e, dele, publicou o artigo A dimensão "narrativa" do universo, na 64ª edição, em 16 de junho de 2003* (Nota da **IHU On-Line**)

pelo surgimento do novo, e dessa forma introduz um fluente equilíbrio, que tem essa estrutura que o professor Küppers mencionou.

**Karen Gloy** – Não sei se já não é superado que na teoria tradicional se tinha, de um lado, a segunda lei da termodinâmica que conduzia à entropia e à morte térmica e que, de outro lado, temos o exemplo da Biologia, na constante neo-organização de espécies, gêneros etc., que introduzia sistemas altamente complicados. Lembro-me de uma passagem de Weizsäcker<sup>52</sup>, em que ele não aduz estruturas orgânicas, mas cristalinas, que estão quase enrijecidas, e aí há estruturas altamente complexas, de modo que não podemos mais encarar simplesmente os dois modelos teóricos, em que um conduziu num sistema fechado à morte térmica, tendo nós, de outro lado, o modelo biológico que leva avante a Teoria dos Sistemas. A obtenção de sistemas mais organizados e complexos parece ser contraditória, mas são simplesmente modelos que não podem ficar apenas contrapostos um ao outro. De um lado, porque o tempo de que dispomos no pensamento da entropia é muito, muito curto, e há pressupostos para o sistema fechado sobre como podemos observar isso. Também existe a experiência em que se solta uma gota de tinta que se espalha, permanecendo a estrutura absolutamente igual e não conduz a uma mistura; só que, para nossos olhos, tudo fica, então, cinza. De outro lado, temos o sistema biológico. Eu creio que seria nossa tarefa interligar esses dois lados. Não deixar a coisa ficar nestes dois modelos rígidos, mas unificá-los numa nova teoria.

**Cirne Lima** – Estou bem de acordo com isso. Eu só queria apresentar os dois extremos, porque assim se pensou até há bem pouco tempo. Há pouco tempo só se tinha uma caricatura, Boltzmann e a morte. Agora temos uma outra direção, e a interconexão dialética de ambas significa o que nós agora representamos aqui. Portanto, a melhor compreensão do processo cósmico.

**Günter Küppers** – Eu também diria que a moderna Teoria da Auto-organização satisfaz pre-

cisamente a esta pretensão: que ela realmente está agora em condições de esclarecer, tanto como surgem estruturas biológicas como também explicar como ocorrem determinados fenômenos no mundo físico, padrões em florestas e outros modelos na natureza, conchas etc., onde podemos mostrar que, por trás, não há mais duas teorias disponíveis: uma que trata do fenômeno do equilíbrio e a outra que trata de algo desconhecido na Biologia. Um mesmo mecanismo opera e houve mais um passo, porque, na sociedade, também é exatamente assim, no nosso cérebro também é exatamente assim: não há nenhum lugar no universo onde isso não seja assim. Isso também para mim é uma grande unificação.

**Cirne Lima** – Esta é a razão por que, segundo minha concepção, o conceito de Teoria dos Sistemas substituiu a lógica, porque é uma teoria universal que conecta precisamente isso. Dali, então, podem, especializadamente, ser encarados a natureza, os não-vivos, os vivos e as estruturas sociais.

**Karen Gloy** – Fica uma pergunta: como pode ser tudo explicado na natureza, na artificialidade, no sistema social, segundo esta norma, uma vez que se trata de uma estrutura cognitiva pela qual podemos interpretar tudo? Chegamos, assim, ao problema da auto-referência, que é bem complicado. E passamos para problemas de Filosofia transcendental e de dialética. Se, em nosso cérebro, há estruturas, pelas quais interpretamos o mundo, tanto os animais, as plantas, o comportamento climático, as curvas populacionais, que são construtos de nosso cérebro, poderíamos assim dizer, estruturas epistêmicas de nosso cérebro que nós extrapolamos. Temos, então, um determinado construtivismo. E como devemos constatar sua realidade?

**Cirne Lima** – Você expôs maravilhosamente o ponto de vista kantiano como filósofa, e a questão é puramente filosófica, e eu diria que sou um neo-hegeliano todo original, porque modifiquei tantas coisas em Hegel que quase não sou mais hegeliano, mas também não sou kantiano. E

<sup>52</sup> Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker(1912): físico e filósofo alemão. (Nota da **IHU On-Line**)

esta afirmação de Kant<sup>53</sup> de que primeiro precisamos estudar o conhecimento, antes de chegar ao objeto, me parece que não é válida. É um fruto podre de sua época. E eu, com alguns autores modernos e também com os antigos, e com o velho Hegel, diria: conhecer é agir. Se pego uma colher, eu inicio finalidades. Conhecimento é, portanto, ação inter-humana. Trabalhar com as pessoas faz surgir conhecimento. Para meus estudantes, explico numa frase boba e simples: há macacos que ainda não falam, mas desceram das árvores e já abandonaram a cauda. E já comeram todas as bananas. E há um rio e do outro lado há maravilhosas bananas. E os macacos olham e nada conseguem fazer. De repente, um macaco vê que as árvores caídas flutuam e ele pensa: “Se derrubo uma dessas árvores, posso ir para o outro lado e comer bananas”. Mas, tentando erguer a árvore, vê que é muito pesada e vai buscar três ou quatro outros macacos que o ajudam a deitar a árvore até o outro lado, passam, comem as bananas e retornam. Para erguer a árvore, numa expressão germânica, os macacos dizem *ho-rück*. É o que dizem os lenhadores alemães quando precisam de colaboração... Se os macacos dizem *ho-rück* e agem, têm a recompensa. Os que passaram e se saciaram estão deitados de barriga cheia. De repente, um macaco levanta, olha os outros e diz: *ho-rück*. No primeiro caso, temos uma ação conjunta e um sinal, *signum*, e este signo está conectado com o *signatum*, conectado de modo meramente sensitivo. As bananas estão aí e o *ho-rück* está com a madeira na mão. Agora a segunda fase desta peça teatral: sem ter a madeira na mão, um macaco grita *ho-rück*. Os outros olham e se perguntam: onde está a árvore? E um diz: também tenho fome e *ho-rück* é para buscar a árvore e já levanta para buscá-la. Chega um segundo e um terceiro e novamente buscam bananas. Após dois meses, *ho-rück* significa pegar uma árvore, cruzá-la sobre o rio e buscar bananas. Este é o significado da palavra *ho-rück*. Este *ho-rück* é, então, desmembrado: há o *ho* e o *rück* e mais algumas palavras que

se acrescentam. É assim, imagino, que surge a linguagem, a epistemologia, não do homem, mas dos animais, e penso aqui no meu velho professor de Biologia, Karl von Frisch, perguntando o que fazem as abelhas para dizer algo às outras. Elas fazem algo, elas dançam e o fazem de tal forma que a dança expressa em que distância e em que quantidade há alimento. Isso quer dizer que conhecimento, epistemologia, é, em última análise, resultado de um agir, e ação é uma configuração social, é um subsistema que produz um conjunto, e eu diria que epistemologicamente estou obrigado a fundamentar isso, se tenho condições. Mas, Kant, ou você não pode querer previamente que eu faça epistemologia, para só posteriormente fazer a base do sistema.

**Karen Gloy** – Você desenvolveu agora uma moderna teoria do conhecimento ou do saber, que reduz o saber ao *know-how*. Eu diria que isso é um saber experimental, como você o descreveu e que também é feito com macacos numa jaula com bananas que eles gostariam de ter, com um galho para passar da gaiola para a banana. Portanto, segundo o que você descreveu, um *know-how* de como se faz a coisa. Contudo, este é um conceito empírico de experiência, não é o conceito de lei da Física ou da moderna ciência.

**Cirne Lima** – Não falemos dos macacos com a árvore, mas da pequena Su, uma chimpanzé que, há 25 anos, falou com dois biólogos americanos. A primeira vez que vi o site, ela sabia mais de 800 palavras e já dizia algumas palavras: fome, arroz ou banana etc. Já fizera uma espécie de síntese. Por isso, penso que não queremos fazer sínteses altamente especializadas e desmembrá-las, porque necessitamos dos elementos que estão em vários sistemas. Creio que nós precisamos, falando antiquadamente, começar com uma ontologia, ou seja, uma teoria de sistemas e, se avançamos bastante, levar a sério nela o subsistema “epistemologia” e retornar e também pesquisar nossas raízes. Assim, se poderia pensar e propor uma epistemologia da língua alemã. Todavia, eu creio

<sup>53</sup> Emmanuel Kant (1724-1804): filósofo alemão, em geral considerado o pensador mais influente dos tempos modernos. Ao referido filósofo **IHU On-Line** dedicou sua 93ª edição, de 22 de março de 2004. Também sobre Kant é o **Cadernos IHU em formação** n. 2. (Nota da **IHU On-Line**).

que, no começo, precisamos iniciar com a ontologia que hoje se chama Teoria de Sistemas, na qual está entretecida a epistemologia. Se então chegarmos tão longe que possamos dizer: “Isto é o subsistema epistemologia, poderemos recuperá-la e trazê-la à luz do dia”. Esta é minha posição e, quanto aos símios, tenho grande sensibilidade por eles, e se, de repente, entra aqui um macaco e diz: “boa tarde”, e se senta, também preciso cumprimentá-lo.

**Günther Küppers** – Há experimentos muito interessantes. Em Paris, há um laboratório zo-

nal onde fazem experimentos com fala. É uma sala com duas câmeras, que podem movimentar-se e mostrar o que vêem, onde macacos jogam bola, e eles começam a copiar um objeto numa folha. No começo, é muito caótico, mas, em pouco tempo, eles são capazes, com uma fala desenvolvida na selva, a designar as coisas e chegar até a uma primitiva interação e dizer: “Me dá o bastão verde”. Isso significa que a fala, a linguagem se desenvolve como algo social, com base na interação e, neste caso, podem mover-se e olhar para o que têm diante de si.

## “A simples relação de causa e efeito se tornou complexa”

Entrevista com Günter Küppers

Günter Küppers é professor e diretor do Institut für Wissenschafts-und Technikforschung (IWT) da Universidade de Bielefeld (Alemanha). Estudou Física na Universität Würzburg und München. É doutor em Física Teórica com habilitação no campo dos estudos científicos pela Universität Wien. Suas áreas de pesquisa são a Física do Plasma, Hidrodinâmica, Filosofia e História da Ciência, Teoria dos Sistemas e Teoria da Auto-organização. Entre outras atividades, Günter Küppers é membro da Associação de Cientistas Alemães, da Sociedade Americana de Cibernética e da Sociedade para os Estudos Sociais e para a Ciência.

### **IHU On-Line – Qual é a contribuição epistemológica da Teoria Quântica para a geração do conhecimento humano?**

**Günter Küppers** – Houve diversas tentativas (entre outras, de Erwin Schrödinger) de aplicar a Mecânica Quântica a processos cognitivos, mas nenhuma delas foi convincente. Atualmente, se vêem, na teoria de sistemas complexos maiores, chances para uma modelagem de processos cognitivos. Modelos de simulação na base de redes

neurônais são hoje, com êxito, adotados em determinados setores, como, por exemplo, no reconhecimento de um modelo.

### **IHU On-Line – Em que medida as teorias da selforganization são aplicáveis ao estudo dos sistemas sociais?**

**Günter Küppers** – O aplicador mais conhecido é Niklas Luhmann<sup>54</sup>. É verdade que ele se baseia, para sua aplicação, em conceitos da *autopoiese*<sup>55</sup>, que eu encaro como um caso excepcional de auto-organização<sup>56</sup>. Eu mesmo apliquei a Teoria de Sistemas de Auto-organização a processos de geração do saber e ao ordenamento de sistemas sociais. Indicações bibliográficas encontram-se em meu site <http://www.uni-bielefeld.de/iwt/kueppers/>

### **IHU On-Line – Qual é o resultado prático de tais aplicações?**

**Günter Küppers** – Resultados práticos de tais aplicações não podem ser mencionados de forma bem concreta. Entretanto, de modo bem geral, tais iniciativas conduziram a uma mudança de paradigma na teoria e também na práxis da adminis-

<sup>54</sup> Niklas Luhmann (1927-1998): sociólogo e jurista alemão. É o representante mais importante da Teoria dos Sistemas. É autor de uma vasta obra. Em português, citamos os livros **Sociologia do Direito I**, Editora Tempo Brasileiro, 1983 e **Sociologia do Direito II**, Editora Tempo Brasileiro, 1985. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>55</sup> A teoria autopoietica tem como idéia básica um sistema organizado auto-suficiente. O termo autopoiese foi cunhado pelos biólogos chilenos Humberto Maturana e Francisco Varela. A teoria autopoietica vem sendo aplicada em várias áreas do conhecimento humano (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>56</sup> O PPG em Direito da Unisinos trouxe à Universidade, nos dias 3 e 4 de novembro de 2004, o professor francês Dr. Jean-Joseph Clam, pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França (CNRS), que ministrou palestras sobre o Direito Autopoietico e lançou o livro **Introdução à Teoria do Sistema Autopoietico do Direito** (Livraria do Advogado Editora), em co-autoria com Leonel Severo Rocha, coordenador executivo do PPG em Direito da Unisinos, e Germano Schwartz. O professor Leonel Rocha apresentou o seminário *O Direito no paradigma da complexidade*, dia 16 de setembro de 2004, durante o **Ciclo de Estudos sobre “O método”, de E. Morin**, promovido pelo IHU. Sobre a apresentação, conferir entrevista concedida pelo professor ao **IHU On-Line** na 115ª edição, de 13 de setembro de 2004. (Nota da **IHU On-Line**).

tração. Sistemas sociais já não são mais vistos como comandáveis de fora. Em vez disso, aponta-se, com muito empenho, para a dinâmica interna de tais sistemas.

***IHU On-Line – Qual é a principal contribuição da Teoria do Caos para o conhecimento contemporâneo?***

**Günter Küppers** – A Teoria do Caos mostra que a simples relação de causa e efeito se tornou complexa. Retroconexões (ou retroacoplamentos) de causa e efeito explicam fenômenos da formação

de estruturas que, em sentido clássico, não podem mais ser explicadas como deterministas.

***IHU On-Line – Ante o progresso da nova Física, qual o destino da Física Clássica?***

**Günter Küppers** – A Física Clássica, por estes novos aspectos, que se tornaram patentes por auto-organização e caos, não se tornou supérflua. Há suficientes fenômenos, para os quais ela fornece um quadro descritivo adequado. Algo semelhante ocorre com a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade. Também estas duas “revoluções” nada modificaram na validade da Física Clássica. Elas apenas limitaram sua validade.



## Natureza e liberdade – A Física atual em foco

Por Armando Lopes de Oliveira

Armando Lopes de Oliveira é professor aposentado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduado em Filosofia pela UFMG, é mestre em Física pela mesma universidade, doutor em Física pelo Centre d'Études Nucleaires de Grenoble (França). O professor Armando participou também do **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, promovido pelo IHU, onde ministrou a oficina A estrutura do universo e os seus códigos físicos, e o curso O caos dedilhado em planilhas Excel. A pedido da **IHU On-Line**, ele escreveu o artigo *Natureza e liberdade – A Física atual em foco*.

### Introdução

Não constitui exagero algum afirmar que a Física, como metodologia científica, já nasceu adulta, no século XVII, por obra e graça do profeta Galileu (“o grande livro da natureza está escrito em uma linguagem matemática”). Sua consolidação, no entanto, como ciência inteiramente formalizada, deu-se a partir do século XVIII, com a difusão do legado científico do apóstolo Newton (“eu não imagino hipóteses inúteis”).

Galileu Galilei (1564-1642), com sua genialidade polêmica, suas intuições profundas e sua conturbada vida, foi o profeta ardoroso da nova ciência. Entre as obras escritas que nos legou, resalto **Sidereus Nuncius** – 1610, **Il Saggiatori** – 1623, **Diálogo sobre Dois Novos Sistemas** – 1632 e **Diálogo sobre Duas Novas Ciências** – 1636. O tufão intelectual violento, causado por suas descobertas astronômicas e seus escritos contundentes, acabou por varrer, do Ocidente Cristão, velhas convicções insatisfatórias e dogmáti-

cas, baseadas na filosofia aristotélica, que constituía, na época, parte integrante do ensinamento oficial da Igreja Católica, herança direta da magistral releitura do aristotelismo, feita, na Idade Média, por Tomás de Aquino (1125-1274).

Isaac Newton (1642-1727), com sua proverbial timidez, e genialidade introvertida, foi, por ironia da sorte, o grande apóstolo da boa nova, intuída, e não inteiramente formalizada por Galileu. Nascido no ano da morte de Galileu, atribui-se a Newton uma frase que acabou se tornando célebre: “Se tenho algum mérito, é porque me apoiei em ombros de gigantes”. Estava ele se referindo a Galileu Galilei e a Johannes Kepler (1571-1630). A obra de Newton é extensa, tendo ele escrito, inclusive, sobre temas teológicos. Chegou-se mesmo a afirmar que ele se interessava mais por Teologia do que por Matemática e Física. Estes dois últimos campos citados, no entanto, foram os que definitivamente o consagraram como um dos maiores gênios da humanidade. Entre suas obras publicadas, convém destacar: **Philosophiae naturalis principia mathematica** – 1687, **Opticks** – 1704, **Methodus fluxionum** (concebido em 1671, mas só publicado em 1736).

Para fazer jus a méritos incontestáveis, foram apresentados, em rápidas pinceladas, os perfis dos dois gênios fundadores da Física Moderna, Galileu e Newton. Foram colocados em destaque também os títulos de algumas de suas obras principais. Grandes matemáticos e físicos dos séculos XVIII e XIX levaram, até às últimas conseqüências, a revolução científico-filosófico-cultural, desencadeada por Galileu-Newton, aprimorando o que acabou por constituir o que se convencionou chamar de Física Clássica ou newtoniana, em contraposição às físicas relativística, quântica, e, na atua-

lidade mais recente, à Física dos Sistemas Caóticos. Essas três últimas vertentes da Física herdadas do século XX serão abordadas, com mais vagar, nas seções a seguir.

## Teoria da Relatividade

A visão científica mudou, e muito, a partir dos primeiros decênios do século XX. Primeiro com a Teoria da Relatividade. Depois, com a Teoria Quântica. Nas últimas três décadas, com a Teoria do Caos.

A Teoria da Relatividade aboliu o caráter absoluto do espaço e do tempo, como entidades autônomas e separadas, como era postulado na Física Clássica ou newtoniana, substituindo tais conceitos pelo absoluto do contínuo “espaço-tempo” de Minkovsky, dotado de quatro dimensões (três espaciais e uma temporal). Isso é tão verdade que Einstein não gostava da expressão relatividade generalizada, preferindo Teoria Geral da Gravidade. Por outro lado, a Teoria da Relatividade põe em realce os chamados invariantes, grandezas físicas que permanecem constantes, mesmo quando se muda de referencial. Um desses invariantes é a velocidade da luz. Ela não se compõe nem com a velocidade do observador, nem com a velocidade da fonte. Velocidades próximas à velocidade da luz acarretam contração das distâncias e dilatação do tempo. Não existem simultaneidades absolutas, porque nenhuma informação se propaga com velocidade maior que a da luz. Massa pode se transformar em energia e vice-versa, segundo a famosa equação:  $E = m c^2$  (E, energia; m, massa; c, velocidade da luz no vácuo = 300.000.000 m/s).

Efeitos relativísticos aparecem quando as velocidades ou as energias envolvidas são muito grandes. Elétron que adquire velocidade 0,99 c (c = trezentos milhões de metros por segundo), em um acelerador de partículas, tem sua massa aumen-

tada de aproximadamente 1852 vezes, ou seja, ela se torna igual à massa de repouso do próton. Isso é um efeito relativístico. O processo de fusão nuclear, que ocorre naturalmente no sol, formando núcleos do gás hélio, a partir de dois prótons (núcleos do gás hidrogênio) e de dois nêutrons, envolve temperaturas da ordem de dez bilhões de graus celsius. Fusão nuclear é um efeito relativístico.

Na nossa vida cotidiana, tornada possível pela mediocridade das temperaturas que nos cercam e das velocidades que nos transportam, não experimentamos efeitos relativísticos: as distâncias não se contraem, o tempo não se dilata, massas não se transformam em energia.

Espaço, tempo, massa e energia foram relativizados, e, no entanto, a relatividade preserva uma visão determinística do mundo: dado o estado do universo agora, seu futuro está inteiramente determinado, e para sempre. No dizer de Albert Einstein (1879-1955)<sup>57</sup>, fundador da Teoria da Relatividade, Deus não joga dados! Esta é uma das suas muitas afirmações, tornadas célebres. Levando-a radicalmente a sério, a vida da humanidade seria como a de colônias de formigas, sujeitas aos tentáculos determinísticos de destinos bem traçados. Universo pouco confortável... Se, no próprio coração da matéria, tudo ocorre de forma determinística, cabe a pergunta: permitiria a natureza alimentar a esperança de alguma brecha para a liberdade?

## Teoria Quântica

Deus joga dados... Com o advento da Teoria Quântica da matéria, a partir do segundo decênio do século XX, de colônias de formigas autômatas, horizonte único que a visão mecanicista, herdada dos séculos XVIII e XIX, nos oferecia, passamos à condição extremada oposta: miríades de ébrios da liberdade, sujeitos aos caprichos de um Deus que joga dados.

<sup>57</sup> No evento **Abrindo o Livro**, promovido pelo IHU, no dia 15 de setembro de 2004, o professor Dr. Paulo Henrique Dionisio, da Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unisinos, apresentou o livro **O ano miraculoso de Einstein: Cinco artigos que mudaram a face da física**, de John Stachel (Organização e introdução). Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. Sobre a obra, o professor Paulo Henrique Dionisio concedeu uma entrevista ao **IHU On-Line**, na 115ª edição, de 13 de setembro de 2004 (Nota da **IHU On-Line**).

Um dos postulados da Teoria Quântica prescreve a impossibilidade de se determinar com precisão absoluta posição e velocidade de partículas atômicas e subatômicas. Este é o chamado princípio de indeterminação de Werner Heisenberg (1901-1976). Com ele rui a visão rigidamente mecanicista da matéria, estritamente determinística. O coração da matéria passa a proibir o determinismo estrito no seu destino. Se fosse possível conhecer com precisão absoluta a velocidade de um elétron, pertencente, por exemplo, a um átomo de hidrogênio, a indeterminação que afeta a sua posição, o transformaria em partícula absolutamente não-localizada, e ruiria por terra o próprio conceito de átomo de hidrogênio.

Na Teoria Quântica, posição é uma função de onda de probabilidade. De ciência do ser, ela transforma tudo em ciência do poder ser. Está aberta uma brecha para a liberdade...

Aprimoremos, no entanto, um pouco mais o enquadramento epistemológico da Teoria Quântica. As funções de onda de probabilidade da Teoria Quântica têm evolução matemática determinística. Isso parece comprometer, em parte, o que chamamos de brecha para a liberdade...

Prossigamos ainda, um pouco mais, no emoldurar epistemológico da Teoria Quântica. Os quadrados das suas funções de ondas de probabilidade têm realismo físico, significando densidades de probabilidades. Acontece que o quadrar delas, com o colapso de suas partes imaginárias, significa projetá-las no universo macroscópico da nossa vida cotidiana, e este é regido por leis determinísticas do tipo da Física Clássica ou newtoniana. Novo golpe na brecha para a liberdade...

## Teoria do Caos

Deus joga dados, e o diabo sacode a mesa... Apesar de tudo, caos virou ciência. Uma de suas

leis é a da alta sensibilidade às condições iniciais: o bater de asas de uma borboleta, na Amazônia, pode desencadear um tornado de grandes proporções na Flórida. Trata-se de uma metáfora, mas ilustrando aspectos importantes: a hipersensibilidade dos fenômenos caóticos às condições iniciais e a sua imprevisibilidade, o que poderíamos chamar de solidariedade (não necessariamente destrutiva, como nos tornados!) ou conjuração de toda a natureza. Existem caos benéficos, como o da atmosfera terrestre, que, livre da ordenação nefasta de turbulências, permite, por exemplo, o vôo tranquilo de aeronaves.

Quem já se extasiou com figuras geradas no computador, oriundas da iteração de equações simples, que juraríamos terem sempre comportamento inteiramente determinístico, mas têm rotas para o caos, pode aprofundar vivências importantes: brincando de modificar ligeiramente as condições iniciais, experimenta: a) como, em determinados casos, se desencadeiam fenômenos caóticos e, em outros, não; b) como a universalidade de padrões gerados por sistemas caóticos, apresentam total indiferença à imprevisibilidade e à sucessão caótica dos detalhes pontuais (um belíssimo exemplo é o do Conjunto de Mandelbrot – Benoit Mandelbrot<sup>58</sup>, 1924-...).

## Conclusão

A Teoria do Caos e a dinâmica de sistemas complexos, embora aqui não caibam aprofundamentos, abrem novas e incontestáveis brechas para a liberdade... Existem, no entanto, deterministas inveterados. Não raro ouve-se a seguinte argumentação: entre os sistemas complexos, o mais complexo de todos é o cérebro humano. Comodamente, postula-se, então, o fatalismo do patrimônio genético. Por que condenar um matador profissional? Ele age assim, por conta do gene da

<sup>58</sup> O Conjunto de Mandelbrot foi analisado na exposição do evento **Abrindo o Livro** do dia 3 de novembro, ocasião em que o Prof. Dr. Ney Lemke, da Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unisinos, apresentou a obra **The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems and Adaptation**, de G. W. Flake. Cambridge: The MIT Press, 2000. O professor Ney concedeu uma entrevista à **IHU On-Line**, publicada na matéria de capa da 120.<sup>a</sup> edição, de 25 de outubro de 2004, na qual comenta aspectos da obra apresentada. (Nota da **IHU On-Line**).

violência, dirá alguém. Este alguém está, no entanto, redondamente enganado. Mesmo na hipótese de se admitir que todo comportamento humano é, em última análise, geneticamente determinado, isso não fornece motivo algum para escusar assassinos, sejam eles profissionais do crime ou não. Se genes correspondem realmente a características fatais, a genes de agressividade se contraporiam genes de autocontrole, mas é claro que devemos ir mais longe, em nossa análise. Não existe determinismo genético. Genes não atuam assim. O que nós somos não está irrevogavelmente escrito em nossos genes. Por outro lado, o mínimo que se pode dizer, a respeito de comportamento social responsável, é que a elaboração de padrões éticos é uma estratégia de sobrevivência na linha evolutiva da humanidade, uma constante histórica benéfica e indispensável.

Alguém poderia ainda insistir: no fundo, a liberdade não seria uma ilusão, uma mera ficção? Minha resposta é pela negativa a tal pressuposto. Quem ainda não se extasiou diante da beleza de uma rosa púrpura ou de uma orquídea amarelo ouro? Mas o púrpuro e o amarelo ouro são ilusões, insistirá alguém, argumentando: a distinção entre essas cores repousa apenas na diferença dos comprimentos de onda das vibrações eletromagnéticas luminosas que as caracterizam. Tudo, no entanto, não se resume apenas nisso. Do outro lado da objetividade das vibrações eletromagnéti-

cas, existe a subjetividade do ser humano que as decodifica como percepções distintas: púrpuro não é amarelo ouro. Trata-se de percepções distintas, subjetivas, sim, mas o que há de fictício nelas? O prazer estético existe. Extasiar-se diante da contemplação do belo existente, seja na natureza, seja em autênticas obras humanas de arte, onde o uníssono de cores bem orquestradas fala mais alto, é um dos muitos apanágios do ser humano. A liberdade tem o seu lado estético. Devemos cultivá-lo com carinho. O ser humano percebe-se como livre. Não há nada de fictício nisso. Somos livres, mas parece importante não fazer escolhas incorretas, sob o ponto de vista dos padrões éticos de comportamento. Escolhas incorretas criam, no mínimo, vazios de valor. Não é confortável conviver com vazios!

### **Agradecimento**

Ao grande amigo e físico teórico, Nilton Penha da Silva, deixo consignado aqui o meu agradecimento. Com efeito, amigo é para estas horas. Apesar de atarefado, ele não se poupou ao trabalho de ler o presente artigo, sugerindo-me algumas modificações, às quais espero ter atendido corretamente, em nome de maior clareza e rigor nesta breve exposição sobre temas tão fascinantes e intrigantes da atualidade científica.

## **A imperiosa criação e recriação dos códigos de entendimento do universo e as revoluções causadas pela Teoria da Relatividade**

*Entrevista com Armando Lopes de Oliveira*

Armando Lopes de Oliveira é professor aposentado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É licenciado, bacharel em Física, mestre em Física pela UFMG e doutor em Física pelo Centro de Estudos Nucleares de Grenoble (França). É pós-doutor em Física pelo Imperial College (Londres). O físico coordenou, durante o **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, a oficina A estrutura do universo e os seus códigos físicos e ministrou o curso O caos dedilhado em planilhas Excel.

**IHU On-Line – Quais as principais teses que o senhor apresenta sobre A estrutura do Universo e os seus códigos físicos?**

**Armando Lopes de Oliveira** – A estrutura do universo desafia a curiosidade e a inteligência dos físicos e de toda mente inquiridora em geral, com os seus códigos surpreendentes, na maioria das vezes paradoxais, quando não enredados no que parece indecifrável. Como conciliar *contínuo-descontínuo, absoluto-relativo, determinismo-indeterminismo, necessário-contingente, ordem-caos*? Meu objetivo principal consiste em afirmar, e tentar mostrar, como, criando e recriando seus próprios códigos de entendimento do universo, a ciência consegue levantar, em parte, o véu do mistério e do paradoxo, com que se revestem os códigos físicos do universo.

**IHU On-Line – Quais as principais teses que o senhor apresenta sobre O caos dedilhado em planilhas Excel?**

**Armando Lopes de Oliveira** – Faz algum tempo, li alguma coisa desconcertante afirmada pelo filósofo francês Michel Serrès<sup>59</sup>: “Como se pode levar a sério a filosofia da ciência se agora até o caos está com *status* de ciência?” O título do meu curso pode criar a ilusão de que o congressista, que não tiver familiaridade com planilhas Excel, estaria perdendo o seu tempo se inscrevendo nele. Não é nada disso. Meu esforço consiste em demonstrar que lidar com o caos cientificamente é, sob vários aspectos, tão simples como entender extratos bancários de contas correntes, com apenas duas entradas (débito-crédito) e uma saída (saldo).

**IHU On-Line – De que forma a Física contribui, e poderia contribuir mais ainda, para pensar o desafio da Terra habitável?**

**Armando Lopes de Oliveira** – No início, ao receber o convite para orientar uma oficina e ministrar um curso no **Simpósio Internacional Terra Habitável**, tive ímpetos de responder: “Sinto-me muito honrado com o convite, mas como físico, talvez, o que gostaria de explorar não tenha nada a ver”. Acontece que o convite já veio com cartas marcadas, talvez porque o Prof. Cirne

---

<sup>59</sup> Michel Serrès: filósofo francês, estuda a situação humana nas várias dimensões da vida e das ciências: existência, espiritualidade, cultura, economia, política, biologia, genética, tecnologia. (Nota da **IHU On-Line**)

Lima<sup>60</sup> tenha soprado no ouvido da comissão organizadora: “Convide o Armando para falar coisas ligadas à estrutura do universo, à complexidade, aos fractais, ao caos”. Resolvi enfrentar o desafio. Afinal de contas, a tecnologia se serve da Física muitas vezes de forma perversa, poluindo, soltando bombas atômicas, detonando artefatos nucleares a título de pesquisa. Por que não apresentar os bons usos que se pode fazer da Física?

**IHU On-Line – Como as teorias do Caos e da Complexidade ajudam a compreender as estruturas do universo?**

**Armando Lopes de Oliveira** – Tem tudo a ver, do *big bang* à era atual, o universo evolui, e os seres vivos evoluem, em estranho e apaixonante jogo de aspectos conflitantes, apresentando estruturas simples das quais emergem complexidades e ausências de estruturas ou caos que eclodem em auto-organização.

**IHU On-Line – Tendo como objetivo o desafio da Terra habitável, quais as mudanças mais importantes pelas quais deve passar a universidade e suas estruturas? Como a Física pode contribuir para uma visão do mundo e um fazer científico mais transdisciplinar?**

**Armando Lopes de Oliveira** – A universidade hoje é uma ficção. O que existe atualmente são pluriversidades. Tendo como objetivo-vetor-comum habilidade e auto-sustentabilidade, deve-se incentivar a transdisciplinaridade em uma rede de interações unificadoras das grandes culturas da humanidade: a religiosa, a artística, a filosófica e a científica.

**IHU On-Line – Quais as principais reflexões que o senhor apresenta sobre o universo e a Teoria da Relatividade?**

**Armando Lopes de Oliveira** – Minhas reflexões pretendem levantar um pouco o véu do mistério, que a Teoria da Relatividade ainda costuma representar, como se estivesse condenada a ser uma espécie de visão do mundo acessível apenas aos

físicos. E eis uma questão mais complicada ainda: como falar sobre relatividade de Einstein, num congresso de dialética, promovido por filósofos, se a dialética não constitui a ferramenta de trabalho da Física? A tarefa, eu a encarei como desafiante e, ao mesmo tempo, estimulante. Felizmente, o grupo do professor Cirne Lima está envolvido com a Teoria dos Sistemas, o que, em grande parte, facilita as coisas. As reflexões feitas foram centradas na quebra de réguas, relógios e massas clássicos, na vertigem do confronto de distâncias que se contraem, tempo que dilata e massa que se transforma em energia.

**IHU On-Line – Quais são as revoluções causadas pela Teoria da Relatividade? Como ela ajuda a compreender o universo?**

**Armando Lopes de Oliveira** – As revoluções causadas pela Teoria da Relatividade, no que têm de mais contundente, são totalmente estranhas à nossa vida cotidiana, na qual não ocorrem velocidades imensas nem temos o nosso planeta Terra turbilhonando na linha de horizonte dos buracos negros. Para que uma régua clássica de 1,00 m tivesse o seu comprimento reduzido para 44 cm, ela deveria estar dentro de uma nave espacial e apontando para o mesmo sentido do seu movimento, o qual deveria se dar a uma velocidade de 972 milhões de quilômetros por hora. Nada aconteceria com a largura da régua. Nesse caso, a pessoa que a estivesse empunhando, em pé dentro da nave, estaria transformada em uma réplica de si própria, com o próprio perfil emagrecido, para menos da metade do diâmetro da própria barriga, e nada lhe teria acontecido com respeito à altura. Seria uma espécie de dieta cósmica! Por outro lado, vamos supor que o passageiro da nave se chame João, e tenha deixado na Terra um irmão gêmeo de nome Paulo. Os dias para João estariam dilatados para 537h 3' e 36", e, caso ele fosse portador de algum tumor maligno, o seu câncer evoluiria em ritmo diminuído também na mesma proporção. Mas seria um erro dizer que a Teoria da Relatividade não afeta em nada a nossa vida do

<sup>60</sup> Carlos Roberto Velho Cirne Lima integra o PPG em Filosofia da Unisinos. Dele, publicamos a entrevista *Karl Rahner defendeu idéias, antes do tempo, cedo demais*, na 102ª edição, de 24 de maio de 2004. (Nota da **IHU On-Line**)

dia-a-dia. Se no Sol, a massa não se transformasse em energia, em reações de fusão nuclear, que apenas a Teoria da Relatividade explica, de, há muito, ele se teria apagado, o que vai acontecer apenas daqui a, aproximadamente, 12 bilhões de anos. Outra coisa, a tabela periódica dos elementos químicos tem propriedades que só a Teoria da Relatividade permite entender, de forma complementar à Física Quântica. Uma delas, a cor amarela do elemento químico ouro, é um efeito relativístico.

**IHU On-Line – O que a Teoria da Relatividade não consegue resolver?**

**Armando Lopes de Oliveira** – A Teoria da Relatividade generalizada supõe o encurvamento do contínuo espaço-tempo. Continuidade não é uma propriedade topológica que se encaixe bem com os pressupostos da Teoria Quântica. Outra coisa é o seu determinismo, incompatível com o probabilismo quântico e, mais grave ainda, com o caráter errático da Teoria do Caos. Einstein dizia que não aceitava um Deus que jogasse dados. Niels Bohr uma vez lhe retrucou: “E quem é você para dizer o que Deus deve ou não deve fazer?”. Hoje os físicos vão mais longe ainda: dizem que Deus joga dados, e o diabo sacode a mesa!

**IHU On-Line – Como vai se construindo a ponte entre os grandes sistemas clássicos da dialética com as ciências contemporâneas? Por que o senhor considera importante esse diálogo?**

**Armando Lopes de Oliveira** – O diálogo não só é importante como imprescindível. Por outro lado, a Teoria dos Sistemas é uma boa ferramenta teórica para fazer a ponte entre os grandes sistemas clássicos da dialética e as ciências contemporâneas.

**IHU On-Line – Na apresentação do evento (Congresso Nacional DIA/2005) afirma-se que “a Teoria da Evolução, por sua vez – isso foi por nós demonstrado – está em co-**

**nexão com a Teoria do Caos Determinístico e com a Geometria Fractal. Para poder expressar esta Totalidade em sua hierarquia de um Todo que está dentro de outro Todo, foi introduzida a Teoria dos Sistemas”. Como explicaria esta afirmação para um público leigo?**

**Armando Lopes de Oliveira** – A afirmação é do professor Cirne Lima. Os fractais gozam de invariância com respeito à escala. Isso significa que, ao se aplicarem “zooms”, tantas vezes quantas quisermos, os detalhes podem mudar, mas os padrões se repetem, em um conceito que, em matemática, se denomina auto-similaridade. Teoria dos Sistemas é realmente muito afim com a dimensionalidade fractal.

**IHU On-Line – Quais as relações mais importantes realizadas nesse evento entre dialética, tempo e natureza?**

**Armando Lopes de Oliveira** – Tenho proposições específicas, calcadas na **Filosofia da Natureza**, elaborada pelo Padre Henrique Cláudio de Lima Vaz<sup>61</sup>, de quem tive o privilégio de ser aluno. Muita coisa, entretanto, está inédita. O importante é que, na década de 1960, Lima Vaz elaborou uma extraordinária visão filosófica da natureza, incorporando o que havia de mais atualizado no campo da Matemática e da Física. O método dialético, por ele inaugurado, incluindo Indução Histórica, Redução Crítica e Elaboração Categorical, continua inteiramente atual e eficiente, podendo ser retomado para incorporar o que de lá para cá apareceu como novidade: fractais, sistemas complexos e caos. O mesmo se pode falar, em relação aos vertiginosos avanços das ciências biológicas, já em parte levados em conta por Lima Vaz, na sua última versão da **Filosofia da Natureza**, elaborada na década de 1980. Dialética, tempo e natureza têm vinculações que podem e devem ser explicitadas em lógicas ascendentes e descendentes, como acontece nas elaborações do grupo Cir-

<sup>61</sup> Na editoria *Memória*, publicada na edição 142<sup>a</sup> da **IHU On-Line** foi realizada uma entrevista com o próprio Armando Lopes de Oliveira, celebrando o terceiro aniversário do filósofo. Henrique C. de Lima Vaz, filósofo, padre jesuíta, autor de uma vasta obra filosófica foi tema da **IHU On-Line** número 19, de 27/05/2002. (Nota da **IHU On-Line**)

ne Lima e Eduardo Luft<sup>62</sup>. Existem, no entanto, densidades ontológicas subjacentes às grandes teorias matemáticas, físicas e biológicas da atualidade, as quais seria muito oportuno tentar reexaminar sob uma perspectiva vaziana.

**IHU On-Line – Como as mudanças das concepções de tempo e espaço provindas das novas tecnologias influenciam na compreensão do universo?**

**Armando Lopes de Oliveira** – Dotam a humanidade da capacidade de avançar na compreensão da imensidade cósmica, até o limite de quintilhões de anos-luz, e mergulhar no abismo do coração da matéria, desvendando o que ocorre no universo dos *quarks*<sup>63</sup>, cuja escala é de 10 quintilhonésimos

de metros. E as possibilidades de recuo no tempo não são menos impressionantes, desvendando o *big bang*, o início do *espaço-tempo*, ocorrido há pelo menos 10 bilhões de anos.

**IHU On-Line – O senhor gostaria de acrescentar mais algum comentário que julgue pertinente?**

**Armando Lopes de Oliveira** – O efeito de sucção, postulado por Cirne Lima, em esforço honesto e persistente, para elevar o nível acadêmico da Unisinos, deve ser levado adiante com afinco, e é o que estou percebendo que estão fazendo desbravadores incansáveis, com quem tive o privilégio de trocar idéias, como os padres Marcelo de Aquino<sup>64</sup> e Inácio Neutzling<sup>65</sup>.

<sup>62</sup> Eduardo Luft é jornalista, mestre e doutor em Filosofia pela PUCRS e Universidade de Heidelberg (Alemanha) respectivamente. Autor dos livros **Para uma crítica interna ao sistema de Hegel**. Porto Alegre: Edipucrs, 1995 e **As sementes da dúvida**. São Paulo: Mandarim, 2001. (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>63</sup> Designação genérica de partículas elementares hipotéticas, com cargas iguais à fração da carga elementar, que seriam os constituintes das outras partículas elementares. (FERREIRA, Aurélio B. de. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. 2.ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986). Prótons e nêutrons são feitos de *quarks*. Tudo o que sabemos sobre o tamanho dos *quarks* é que são muito pequenos para se medirem com os aceleradores atuais e os métodos experimentais existentes. Logo, os teóricos os tratam como se fossem partículas pontuais. (Nota da **IHU on-Line**)

<sup>64</sup> Marcelo Fernandes de Aquino é vice-reitor da Unisinos e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>65</sup> Inácio Neutzling é diretor do Instituto Humanitas Unisinos e professor e pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais Aplicadas da Unisinos. (Nota da **IHU On-Line**)



## Teoria da Relatividade: uma leitura filosófica

*Entrevista com Manfredo Araújo de Oliveira*

Manfredo Araújo de Oliveira é professor do Departamento de Filosofia da Universidade Federal do Ceará. Manfredo é graduado em Filosofia pela Faculdade de Filosofia de Fortaleza, mestre em Teologia pela Pontifícia Universidade Gregoriana de Roma (Itália) e doutor em Filosofia pela Universität München Ludwig Maximilian (Alemanha), com a tese intitulada *Subjetividade e mediação: estudos sobre o desenvolvimento do pensamento transcendental em Kant, E. Husserl e H. Wagner*. É autor de, entre outros, **Filosofia transcendental e religião**. São Paulo: Loyola, 1984; **A Filosofia na crise da modernidade**. São Paulo: Loyola, 1989; **Ética e racionalidade moderna**. São Paulo: Loyola, 1993; **Ética e economia**. São Paulo: Ática, 1995; **Diálogos entre razão e fé**. São Paulo: Paulinas, 2000; **Desafios éticos da globalização**. São Paulo: Paulinas, 2001; **Para além da fragmentação**. São Paulo: Loyola, 2002; **Dialética hoje. Lógica, metafísica e historicidade**. São Paulo: Loyola, 2004. Manfredo de Oliveira participou na Unisinos do Congresso Nacional DIA/2005 – *Dialética, tempo e natureza*, onde ministrou a conferência *Leitura filosófica da Teoria da Relatividade*.

### **IHU On-Line – Qual é a leitura filosófica da Teoria da Relatividade?**

**Manfredo de Oliveira** – A minha abordagem é a posição de um professor alemão, Dieter Wandschneider<sup>66</sup>, que faz uma tentativa de ler fi-

losóficamente a Teoria da Relatividade, dizendo o seguinte: a filosofia tem uma parte, que é seu núcleo central, que se faz por meio de uma reflexão sobre o puro espírito humano sobre si mesmo. Nesse momento, ela busca chaves de compreensão do mundo, do universo, do homem e das coisas. Mas quando chega a hora de, com base nessas chaves de inteligibilidade que ele trabalhou no primeiro momento, compreender realmente o universo, ele não pode vir do puro permanente, tem que vir das ciências. Então a Teoria da Relatividade pôs em questão, não destruiu, pôs em questão, alguns conceitos fundamentais da Física Clássica, ou seja, a mecânica de Newton. E a partir daí elaborou uma visão do mundo natural que, em muitos aspectos, discorda da posição de Newton, portanto, abre o espaço para uma nova compreensão da natureza. Ora, a tese do autor que eu trabalho é que o filósofo, quando trata exatamente das coisas do homem, do universo, não pode fazer isso, fundamentado na pura reflexão, mas tem que, em primeiro lugar, considerar as ciências. Só que as ciências empregam conceitos para falar do mundo e não trabalham propriamente esses conceitos. Ora, o filósofo teria como tarefa explicitar o que está implícito nos conceitos que as ciências trabalham e descobrir neles uma conexão. Isso significa dizer que a filosofia do real, de agora em diante, não pode mais passar sem as ciências. Ela tem que partir das ciências e fazer todo o seu trabalho como uma espécie de expli-

<sup>66</sup> Dieter Wandschneider: formado em Física em Hamburgo. Foi professor de Filosofia na Universidade Tübingen (Alemanha) na Universidade de Hamburgo e na de Paderborn. Desde 1988, é professor de Filosofia e Teoria do Conhecimento na Universidade de Aachen, situada na fronteira entre a Bélgica e a Holanda. Entre suas publicações, citamos **Das Problem der Dialektik** (Studien zum System der Philosophie, Bd. 3), hg. von Dieter Wandschneider, Bonn (Bouvier) 1997. (Nota da **IHU On-Line**).

tação de conexões necessárias que estão presentes no trabalho da ciência, mas não estão conscientes para o cientista. Já a preocupação dele é muito mais explicar como o mundo acontece, ou como as coisas acontecem no mundo. Não está preocupado com seus próprios conceitos, com a conexão de conceitos etc.

### **IHU On-Line – Qual é a importância da Teoria da Relatividade para compreender o universo?**

**Manfredo de Oliveira** – Veja bem, em primeiro lugar, é preciso notar o seguinte: foi espalhada pelo mundo a idéia de que se trata de uma Teoria da Relatividade, mas, na realidade, quando estudamos, vemos que Einstein combinou dois princípios: o princípio da relatividade dos movimentos dos corpos e o princípio absoluto da não-variabilidade da velocidade da luz. Portanto, a Teoria da Relatividade tem um princípio do absoluto da velocidade da luz e um princípio da relatividade dos corpos em relação ao princípio. Existe até um psicólogo alemão, Wertheim, que diz que a Teoria da Relatividade poderia ser chamada também de teoria da absolutidade, porque a própria relatividade do movimento só aparece quando fazemos a referência de todos os corpos em movimento a algo que não tem referência a nada, que é exatamente o movimento absoluto neste sentido da luz. Então, o interessante da Teoria da Relatividade é como ela se esforça por pensar junto aquilo que, na física anterior, tinha ficado separado, por exemplo, movimento e repouso. A Teoria da Relatividade diz que é impossível pensar movimento sem repouso, é impossível pensar repouso sem movimento. Matéria e movimento. Antigamente, se dizia que matéria é aquilo que não muda, e movimento é aquilo que muda; o movimento é um acidente, a matéria, substância. Com a Teoria da Relatividade, é impossível pensar o movimento

sem algo que se movimenta, portanto sem a matéria, e é impossível pensar a matéria sem movimento. Trata-se de um esforço em pensar, de uma forma integrada, conceitos que, na Física Clássica, tinham ficado separados. Isso significa dizer que vamos na direção de uma visão muito mais integrada do mundo do que a Física Clássica poderia dar, embora a Teoria da Relatividade não é uma teoria do mundo, até porque Einstein teve muita dificuldade em aceitar a Física Quântica por uma série de razões. E hoje se diz exatamente que a Teoria da Relatividade ainda é uma física do macrocosmos, enquanto a Física Quântica é subatômica, do microcosmos. E a teoria verdadeiramente unitária da realidade cósmica só apareceria, quando fôssemos capazes de juntar o micro e o macro, ou seja, em termos físicos, a Teoria da Relatividade e a Física Quântica. É o que tenta fazer hoje, por exemplo, a Teoria das Supercordas, que ainda está em embrião, surgindo, mas a intenção ou, por exemplo, teóricos do todo, como o físico Lee Smolin<sup>67</sup>, cujo livro **A vida nos cosmos** (traduzido pela Unisinos), vai atrás de um elemento comum que perpassa tanto os seres anorgânicos quanto os orgânicos, mentais e a realidade social.

### **IHU On-Line – Como se relacionam os grandes sistemas clássicos da dialética com as ciências contemporâneas?**

**Manfredo de Oliveira** – Hoje só podemos fazer essa relação se fizermos certas correções dos grandes sistemas dialéticos do passado. Se tomarmos sobretudo a referência deste congresso, que é Hegel, ele imaginava que o filósofo podia, puramente com base na reflexão, não só descobrir a estrutura do pensamento, as estruturas básicas de toda a realidade, mas também pensar concretamente toda e qualquer realidade, puramente como se diz em Filosofia, *a priori*, independentemente da experiência, por pura reflexão. Hoje, mesmo guar-

<sup>67</sup> Lee Smolin é professor de Física na Universidade da Pensilvânia (EUA). Como físico teórico, tem contribuído com idéias-chave nas pesquisas pela unificação da Teoria Quântica com a Cosmologia e a Teoria da Relatividade. Apresentamos na **IHU On-Line**, na 111ª edição, de 16 de agosto de 2004, do livro de Lee Smolin **A Vida do Cosmos**, publicado pela Editora Unisinos, em 2004, o prólogo e a introdução, escritos pelo autor, que dão uma visão do alcance e do significado da obra. Também publicamos, na editoria *Livro da Semana*, da edição n. 130, de 28 fev. 2005, da **IHU On-Line** a resenha deste livro, de autoria do professor Dr. Ney Lemke, da Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unisinos. (Nota da **IHU On-Line**)

dando o esquema hegeliano de dizer que a Filosofia tem que buscar a inteligibilidade de todas as coisas, ela não pode ser reduzida apenas a uma teoria do espírito humano, que pensa o mundo, mas tem que fazer isso também, portanto, tem que pensar a racionalidade que está imanente em cada realidade, em cada coisa. Mesmo admitindo esse propósito, temos que dizer para Hegel e para os dialéticos do passado que, para fazer isso, precisamos ouvir as ciências. Hegel dividia a ciência em dois grandes campos. O primeiro é a filosofia lógica, que teria como tarefa tematizar essas grandes chaves de compreensão, os conceitos fundamentais com os quais nós podemos pensar o mundo. O segundo é a filosofia do real, em que o filósofo, com esses grandes conceitos, pondera a natureza e o homem. Só que Hegel pensava que isso podia ser feito puramente mediante a reflexão do pensamento sobre si mesmo. Nós, hoje, dizemos que isso é impossível sem ouvir o trabalho do cientista, ver como ele concatena seus conceitos para falar do real.

***IHU On-Line – Como a pesquisa no Brasil está levando em conta esse diálogo com os clássicos?***

**Manfredo de Oliveira** – Muito incipiente. Acho que a Unisinos é uma exceção, porque Cirne Lima sempre teve uma consciência clara de que essas correções com os grandes dialéticos do passado têm que ser feitas e que cultivou o conhecimento das ciências, de modo que ele pode, talvez mais do que qualquer outro filósofo no Brasil, fazer essas ligações necessárias hoje. Não só no Brasil, no mundo é coisa incipiente. Estamos saindo de uma época em que os filósofos achavam que as ciências não tinham importância para eles.

***IHU On-Line – Na apresentação do Congresso, afirmou-se que foi demonstrado que a Teoria da Evolução está em conexão com a Teoria do Caos Determinístico e com a Geometria Fractal. Qual é sua opinião a respeito?***

**Manfredo de Oliveira** – Naturalmente, é um pouco de otimismo demais a expressão de que “está demonstrado”. Cirne Lima acha que demonstrou, mas está longe. Estamos todos no mes-

mo barco, mas não porque concordemos em tudo. Estamos na mesma busca. Inclusive do ponto de vista físico, essas teorias todas não estão mais conectadas entre si. Agora, é claro que ele disse que o nosso trabalho está consistindo nisso. O exemplo da Teoria da Evolução e da Teoria dos Sistemas é muito elucidativo. Pega-se, por exemplo, uma semente que depois vai crescendo e desenvolvendo-se. Então, o universo, para um pensador como Hegel, embora no tempo dele não houvesse isso, e ele só imaginava evolução no pensamento, ele não tinha idéia de que a natureza mesma era um processo de evolução. Isso não é difícil de acoplar, porque tem todas as bases filosóficas, sistemáticas que permitem essa história de pensar o real como evolução, porque, no fundo, é a mesma estrutura fundamental que vai se desenvolvendo. O desenvolvimento não leva à fragmentação. É isso que a Teoria dos Sistemas compõe e que é uma idéia fundamental de Hegel. O real constitui uma unidade na diversidade. São muitas realidades diferenciadas, mas todas estão unificadas, de tal maneira que viver é conviver, ou seja, uma realidade está sempre em relação com todas as outras. Nesse sentido, o que a Teoria dos Sistemas quer explicitar é que o real é uma totalidade, e que essa visão fragmentária, analítica ao extremo, que nós tivemos com as ciências modernas, tem grandes avanços, porque ela se tornou menos pretensiosa, no sentido que queria ver o campo da realidade, só que levou a uma especialização enorme, que permitiu uma grande manipulação desses campos. Mas o preço foi muito grande também, porque se perdeu a unidade do universo, e ficamos com a consciência totalmente fragmentada, separada, em gavetas, e isso é o que caracteriza o homem moderno, analítico, científico.

***IHU On-Line – Quais as relações mais importantes realizadas neste evento entre dialética, tempo e natureza?***

**Manfredo de Oliveira** – Há diferentes abordagens possíveis. A minha diz mais respeito à idéia de que não podemos pensar tempo sem espaço, nem espaço sem tempo. Eles constituem uma unidade indissolúvel. São aquilo que Hegel chamava de determinações reflexivas: uma não pode ser

pensada sem a outra. E a matéria é aquele momento do repouso que está no movimento espaço-temporal. Assim, coisas que antes apareciam como realidades separadas, agora aparecem integradas. A dialética é exatamente a tentativa de

pensar esses conceitos básicos que estão na Física, espaço, tempo, matéria, vendo a sua mútua imbricação, ou seja, para retomar a idéia de que a natureza é essa totalidade de múltiplas faces.

## Por que as leis naturais são como são?

Entrevista com Antônio Augusto Passos Videira

Antônio Augusto Passos Videira é professor do Departamento de Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Videira é doutor em Filosofia pela Université de Paris VII e pós-doutor pelas Universidades de Évora (Portugal), pela Unicamp de São Paulo, pela Universidade Federal da Bahia e pela Universidade Federal de Santa Maria. Publicou artigos em revistas nacionais e estrangeiras, o livro **Henrique Morize e o ideal de ciência pura na República Velha**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2003, e organizou vários livros, entre os quais citamos: **Einstein e o Brasil**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1995; **O que é vida? Para entender a biologia do século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000; **Temas de Filosofia da Natureza**. Rio de Janeiro: UERJ, 2004. O professor Videira coordena o grupo de trabalho em Filosofia da Ciência da Associação Nacional de Pós-Graduação em Filosofia (Anpof). Ele é também secretário adjunto da Anpof e secretário da Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC). Para o professor Dr. Antônio Augusto Passos Videira, a filosofia da ciência deve perceber a ciência “não apenas como um tipo específico de conhecimento, mas percebê-la em seu processo de desenvolvimento histórico, de interação com outras formas de conhecimento e nas suas relações com os diferentes grupos que constituem a sociedade”. Entrevistado pela **IHU On-Line**, ele declarou-se “favorável a um diálogo da Filosofia com a ciência, a sua história”, já que disso podem resultar “transformações profundas no fazer filosófico, pois talvez o objetivo da Filosofia se modifique”. O professor Videira ministrou a conferência *Cosmologia e Filosofia da Ciência*, durante o **Colóquio Internacional Filosofia e Ciência: Redesenhando Hori-**

**zontes**, realizado na Unisinos, de 21 a 24 de setembro de 2004.

### **IHU On-Line – O quê é a Cosmologia moderna e qual a sua importância para a ciência?**

**Augusto Videira** – A importância da Cosmologia moderna para a ciência é fundamental. Entre outras questões, a Cosmologia se coloca a seguinte: qual é a origem das leis naturais? Nós sabemos que a ciência moderna acredita na existência de leis naturais, mas por que o problema da origem delas é importante? Por que as leis naturais têm a forma que elas têm? Por que elas são como são? Ou ainda: por que os fenômenos, ao obedecerem àquelas leis, o fazem de uma determinada forma? Para que essas leis não sejam tão arbitrárias, seria interessante se nós pudéssemos compreender as suas origens. No campo da ciência, a disciplina que poderia perguntar-se a respeito desse tema, seria a Cosmologia, pois ela se preocupa com a origem do universo. Em outras palavras, caso seja possível compreender a origem do universo, poderemos compreender a origem das leis, pois elas se teriam originado com o universo e, de acordo com a formação responsável pelo surgimento do universo, essa mesma formação também seria responsável pelo surgimento das leis. Assim, a Cosmologia poderia nos ajudar a compreender aspectos muito importantes da ciência. Outro aspecto importante é a relação entre a consciência e o conhecimento ou, como alguns cosmólogos costumam dizer, qual é a relação entre a existência da consciência e a existência de um universo. Para muitos, a consciência seria responsável pelo modo segundo o qual o universo é. Dito de outra forma, o universo é como é, porque existe uma consciência que é a nossa. Esse tipo de argumento

é conhecido como o “princípio antrópico”, para o qual existem várias formulações diferentes, de acordo com o grau de radicalidade que se queira dar ao papel da consciência. É um assunto controverso.

**IHU On-Line – Como dialogam a Cosmologia e a Filosofia? Qual a importância desse diálogo para compreender a sociedade contemporânea?**

**Augusto Videira** – Eu acho que a Cosmologia tem, paulatinamente – e eu digo paulatinamente, porque isso ainda é controverso, nem todos os cosmólogos, nem todos os cientistas aceitam questões como as antes referidas –, cresce o número de cosmólogos favoráveis a um diálogo muito forte com a Filosofia, pois percebem que a Cosmologia tem possibilitado que se façam questões que a Filosofia já propõe há muito tempo. Por exemplo, a Cosmologia vem incorporando perguntas como “por que as leis naturais são como são?”, que é uma questão tipicamente filosófica, pois indaga pelo motivo. Segundo o cosmólogo Geoge Ellis<sup>68</sup>, dependendo das indagações que são atribuídas ao escopo da Cosmologia, nós encontraremos questões da Filosofia. Então, me parece que o diálogo é natural. Por outro lado, falar sobre a importância desse diálogo para a sociedade contemporânea é extremamente complexo. Sabemos que a Cosmologia, historicamente, envolve perguntas do tipo “o que é o homem?”, “o que é o mundo?” e “qual é o lugar do homem no mundo?”. E sabemos que essas indagações foram respondidas não apenas pela Cosmologia ou pela Filosofia, mas também pela Teologia. Portanto, na sociedade contemporânea, dependendo do escopo que se queira dar à Cosmologia e o que vai influenciar o tipo de diálogo que a Filosofia vai manter com a Cosmologia, nós poderemos nos deparar com o diálogo entre a Cosmologia e a Teologia. Trata-se de uma questão que deve ser abordada cautelosamente. Nesse momento, estamos mexendo com idéias muito caras para um ou

outro lado da ciência ou da Teologia. Não podemos utilizar conseqüências cosmológicas, balizadas e validadas pela ciência para justificar formações teológicas. O exemplo mais conhecido, é o da criação do universo. Nós sabemos que a Cosmologia ainda não dispõe de conhecimentos suficientes para explicar como o universo se originou, e alguns teólogos, no que, às vezes, são acompanhados por alguns cosmólogos, dizem que aí está um limite para a ciência, que nada poderia falar sobre a origem do universo. Então, se abriria um espaço para um discurso teológico. De todo o modo, independentemente da resposta que se queira dar, a minha posição atual é que nós devemos respeitar a possibilidade de que esse diálogo aconteça. Parece-me que a Cosmologia e a Teologia podem manter um diálogo, mesmo que ele não resulte numa posição consensual. Mas não podemos ignorar que existem teólogos interessados em se basear em conclusões cosmológicas em favor dos seus discursos teológicos. Ou o contrário: que temos cosmólogos interessados em manter os teólogos distantes, não permitindo o uso das suas conclusões. Até que ponto a Cosmologia pode nos ajudar a dar sentido à nossa existência? Essa indagação é delicada, porque, tradicionalmente, a ciência moderna não se preocupa com esse tipo de tema. É importante reconhecer a complexidade desse tema ao invés de colocá-lo debaixo do tapete. É preciso possibilitar o diálogo, pois se não chegarmos a uma resposta, poderemos chegar a algo importante que é estabelecer as diferenças. E respeitá-las a partir daí, o que eu acho fundamental.

**IHU On-Line – Qual é a influência exercida pela metafísica sobre a ciência?**

**Augusto Videira** – Considerando a vastidão do tema, vou me limitar apenas à relação entre metafísica e Cosmologia. Essa relação é bem evidente: a metafísica pode ser definida como um discurso sobre a estrutura mais fundamental do mundo ou da natureza, e a Cosmologia precisa desse discur-

<sup>68</sup> **George Ellis** é professor de Sistemas Complexos na Universidade Cape Town no Departamento de Matemática. É co-autor, com Stephen Hawking, do livro *The Large Scale Structure of Space-Time*, publicado em 1973 e é considerado um dos principais cosmólogos do mundo. No ano de 2004, ele recebeu o Templeton Prize por sua pesquisa sobre os aspectos filosóficos da Cosmologia. Ele também lutou ativamente contra o *apartheid* do seu país. (Nota da **IHU On-Line**).

so, na medida em que ela não tem como comprovar muitas das suas conclusões. A Cosmologia sofre de uma certa restrição às suas observações. Por exemplo, ela trata do universo, definido como sendo o todo, tudo aquilo que existe – ainda que essa existência seja determinada pelas leis físicas, o que exclui a consciência. De todo o modo, ainda que tenhamos uma restrição desse tipo, essa totalidade, que é constituinte da definição da Cosmologia, não pode ser objeto de observação. Mesmo porque nós, seres humanos, que construímos a Cosmologia, integramos essa totalidade. Não temos como sair dessa totalidade e observá-la, a não ser por meio da nossa capacidade teórica. Ou seja, a metafísica é importante para a Cosmologia, na medida em que ela nos ajuda a estabelecer definições que permitem à Cosmologia se fundamentar em certos princípios, sobre uma certa base sem a qual ela não pode funcionar, não pode se constituir. Então, a Cosmologia não apenas mantém uma relação com a metafísica, mas mantém relação de dependência, não total e completa, mas trata-se de uma relação presente e atuante. E é bom que os cosmólogos a reconheçam. De uns anos para cá, eles têm se mostrado um pouco mais liberais quanto a essa relação. Se, durante muito tempo, a ciência queria ver a metafísica o mais longe possível, a partir do momento em que a Cosmologia surgiu como uma disciplina científica – e hoje ela é uma disciplina científica – os cientistas reconheceram que a Cosmologia mantém uma relação muito forte com a metafísica.

***IHU On-Line – Quais são os grandes desafios que persistem no diálogo entre a Filosofia e a ciência e destas com a sociedade contemporânea?***

**Augusto Videira** – Normalmente, o diálogo entre Filosofia e ciência foi organizado da seguinte questão: que tipo de conhecimento é a ciência? Ou seja, a Filosofia preocupa-se com a ciência apenas como uma forma de conhecimento, interessada em saber quais as características inerentes à ciência justificam aquilo que a ciência considera ser, isto é, verdadeira, objetiva, intersubjetiva, entre outros aspectos. O problema é que essa pers-

pectiva é muito restrita. A Filosofia devia olhar para a ciência, como vem acontecendo de uns anos para cá, não apenas como um tipo de conhecimento, mas como um tipo de práxis, pois a ciência envolve outros princípios que não são apenas relativos à sua estrutura como um certo tipo de conhecimento. Sem dúvida, esses princípios existem para muitos, a ciência seria um tipo de conhecimento distinto da religião, por exemplo, mas a ciência é muito mais do que isso. O que eu acho que cabe fazer agora é perceber que a ciência tem uma dimensão social e política que é inerente a ela mesma. Nós não podemos compreender o que é ciência, se nós não nos preocuparmos em perceber de que modo ela consegue influenciar as nossas vidas, a sociedade. Não podemos pensar, por exemplo, que a divulgação científica é uma atividade marginal à ciência. Ela faz parte intrínseca da ciência, pois é por meio dela que a ciência pode falar com o mundo que não é ciência, mas que depende dela. E a ciência precisa disso, porque é extremamente cara e o destino dos recursos nela aplicados exigem critérios transparentes. Isso não é marginal, mas só recentemente os filósofos estão se preocupando com esse tipo de problema. Mas nós não sabemos ainda como incorporar essas discussões, incorporar um problema relativo à transparência e distribuição dos recursos sem que as questões concernentes à natureza da ciência como conhecimento sejam abandonadas. O grande desafio é juntar essas indagações. Precisamos redesenhar esses horizontes, como diz o título do colóquio realizado pela Unisinos.

***IHU On-Line – Como o saber científico e especialmente as universidades podem comprometer-se mais com a sociedade?***

**Augusto Videira** – Nós temos que pensar no contexto da aplicação. Vamos desenvolver um conhecimento? Mas para quem? Para quê? A que preço? Quais são as conseqüências positivas e negativas desse conhecimento? Isso não deve ser pensado, como ainda é regra, como uma limitação à ciência. Não podemos manter uma postura que ainda é a principal, segundo a qual o cientista desenvolve uma teoria e não se preocupa com os usos, que seriam de responsabilidade dos políti-

cos. No que diz respeito à estrutura da universidade, no momento em que nós ensinamos, formamos os nossos alunos. Nós ainda não sabemos transmitir-lhes esse tipo de responsabilidade, o que é uma falha muito séria. A universidade deve incorporar a responsabilidade social à nossa formação, ao lado do ensino da pesquisa. Deve definir como vamos integrar o nosso conhecimento ao mundo, que está para além das fronteiras da universidade ou da ciência. Esse desafio deve ser enfrentado o mais rapidamente possível em função dos riscos de toda a ordem que estamos enfrentando, como os ambientais e sociais.

**IHU On-Line – Qual é o impacto de uma reflexão filosófica sobre a ciência em sua inserção sociocultural contemporânea? Qual a ressonância desse impacto nas condições do fazer filosófico?**

**Augusto Videira** – Respondendo à primeira indagação: eu acho que é fundamental, pois nós temos que ver a ciência não como um elemento distinto da cultura. A ciência é uma forma de produção cultural e tem que se perceber como um elemento estruturante que pode estar em igualdade com os outros elementos constituintes da sociedade. Considerando a visão de mundo que nos domina, percebemos a ciência como um elemento, se não inteiramente, à parte, ocupando um lugar distinto dos demais. A ciência tem que evitar se colocar num pedestal, precisa dar espaço, por exemplo, à posição de quem não deseja comer alimentos transgênicos – e isso não significa que essa recusa seja proveniente de uma pessoa sem cultura. Como incorporar essa posição? O problema, muitas vezes, é que, devido à presença da ciência no nosso mundo, até que ponto as conclusões científicas devem ser impostas ou incorporadas pelos outros? Quanto à segunda parte da pergunta, embora esse tema me interesse, eu não tenho uma resposta organizada. O que eu diria, no campo da filosofia da ciência, é que ela deve perceber a ciência não apenas como um tipo específi-

co de conhecimento, mas percebê-la em seu processo de desenvolvimento histórico, de interação com outras formas de conhecimento e nas suas relações com os diferentes grupos que constituem a sociedade. No fazer filosófico, sou favorável a um diálogo da Filosofia com a ciência, a sua história, a ética... E isso pode resultar em transformações profundas no fazer filosófico, pois talvez o objetivo da Filosofia se modifique. Portanto, é preciso haver diálogo.

**IHU On-Line – Quais são os principais desafios que o ecossistema global representa para o pensamento econômico e social contemporâneo?**

**Augusto Videira** – Penso que seria obrigatório incorporar esse tipo de tema às nossas reflexões. Temos que pensar na preservação da natureza, por exemplo. Não há como sustentar que todo e qualquer tipo de progresso é válido, ou que qualquer tipo de modelo econômico é válido. De maneira alguma. E não digo isso porque o meio ambiente está ameaçado, mas é preciso considerar o impacto sobre as nossas vidas do tempo que perdemos nos deslocando, considerar como estão se dando as relações entre os seres humanos... Temos que pensar que os critérios econômicos não são decisivos de modo algum, pelo contrário. O índice mais importante na economia não deve ser o da confiança dele na economia. Ou eu só existo, porque consumo? Se quisermos manter uma relação equilibrada e estável com os outros e com o meio ambiente, não poderemos continuar consumindo do jeito que consumimos. Qual é a capacidade de sustentação que o planeta tem diante dessa voracidade consumista? Estamos nos acostumando de modo perigoso a viver em *shoppings centers*. E o *shopping* de São Leopoldo é igual ao do Rio de Janeiro que é igual ao de Londres. Isso é triste e ruim. Acho que devemos incorporar esses temas nas nossas reflexões, incorporar essas preocupações às nossas práticas como pesquisadores e professores.



## A lógica quântica e a transdisciplinaridade exigem a mudança de nossos hábitos mentais

*Entrevista com Basarab Nicolescu*

*Basarab Nicolescu é professor de Física Teórica na Universidade Pierre e Marie Curie (Paris), onde foi fundador do Laboratório de Física Teórica e de Altas Energias. É um dos mais atuantes e respeitados teóricos do cenário científico contemporâneo. É também presidente do Centro Internacional de Pesquisas e Estudos Transdisciplinares (Ciret), fundado na França, em 1987. Na última década, Nicolescu produziu diversos textos que procuram desvendar as relações entre arte, ciência e tradição, propondo novos modelos de pensamento que possam resgatar à cultura e à sociedade um ser humano mais completo, capaz de enfrentar os desafios da complexidade, a intrincada teia de relações entre conhecimentos, disciplinas e sistemas (naturais, culturais e econômicos), que caracteriza o mundo contemporâneo. Nicolescu integra o corpo de pesquisadores do Centro de Educação Transdisciplinar (Cetrans), de São Paulo. Seus livros publicados em português são **Ciência, Sentido & Evolução – A cosmologia de Jacob Boehme**. São Paulo: Attarl, 1995; **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. 2. ed. São Paulo: Triom, 2001.*

**IHU On-Line – O senhor afirma que o processo de decadência das civilizações é marcado pela defasagem entre a mentalidade de seus atores e as necessidades internas do desenvolvimento de um tipo de sociedade. O senhor poderia, em traços largos, demonstrar a defasagem que existiria entre os objetivos dos principais atores das sociedades contemporâneas e as exigências de uma nova civilização?**

**Basarab Nicolescu** – Quem poderia negar que a ciência, pela sua consequência mais visível – a tecnologia – está transformando nossas vidas e

nos deixando desarmados diante do dilema de um bem-estar exterior, acompanhado de um empobrecimento (até o aniquilamento) de nossa vida interior? A ciência se encontra na posição daquele que é chamado a limpar uma casa considerada sublime e a encontra em mau estado. Uma vez que seu trabalho é concluído, ele observa que o proprietário da casa fica muito tempo ausente, que ela está vazia. Como não ficaria ele tentado a tomar posse deste lugar inabitado? A ciência fundamental enterra suas raízes na terra nutridora das interrogações comuns a todo campo do conhecimento humano: Qual é o sentido da vida? Qual é o papel do homem no processo cósmico? Qual é o lugar da natureza no conhecimento? A ciência fundamental tem, então, as mesmas raízes que a religião, a arte ou a mitologia. Entretanto, gradativamente, suas questões foram consideradas não-científicas e foram rejeitadas no inferno do irracional, campo reservado do poeta, do místico ou do filósofo. A causa essencial desta mudança de paradigma foi o triunfo indiscutível, sobre o plano da materialidade direta, do pensamento analítico, reducionista e mecânico. Bastava postular leis vindas não se sabe de onde. Em virtude dessas leis, dessas equações de movimento, tudo podia ser precisamente predito, uma vez que as condições iniciais estivessem fixadas. Tudo estava determinado, mesmo pré-determinado. Neste universo de falsa liberdade (tudo estando, desta forma, determinado), era surpreendente que algo pudesse realmente acontecer. Testemunha de uma ordem absoluta, estática e imutável, o cientista não podia mais ser, como em outra época, um filósofo da natureza – ele era obrigado a tornar-se um técnico do quantitativo. Uma prolifera-

ção anárquica e caótica do mental invade inevitavelmente o mundo. Uma tecnociência sem direção produz um número cada vez maior de máquinas, verdadeiros prolongamentos dos órgãos dos sentidos<sup>69</sup>. Este movimento destruidor da natureza engendra, necessariamente, uma aceleração da mecanização, da fragmentação, do aniquilamento e da interação. Os sinais da nova barbárie são perceptíveis no mundo inteiro. A fonte da nova barbárie me parece residir na mistura explosiva do pensamento binário, aquela do terceiro excluído (“sim” e “não” – verdade absoluta e falsidade absoluta), em oposição aos dados da ciência fundamental contemporânea e uma tecnologia sem nenhuma perspectiva humanista.

***IHU On-Line – O senhor considera que o computador faz surgir ferramentas e metáforas que contribuem de maneira inédita para a compreensão dos destinos da humanidade? A idéia, segundo a qual “o mundo é feito de informação”, poderá nos conduzir a uma compreensão fértil do destino potencial da humanidade?***

**Basarab Nicolescu** – Os efeitos quânticos não se limitam à escala do infinitamente pequeno. Sistemas macroscópicos como os feixes laser, o hélio superfluido ou os metais supercondutores apresentam efeitos quânticos em grande escala. Todavia, apesar de tudo, o mundo quântico continua sendo, para o grande público, um mundo distante, paradoxal, ambíguo, na fronteira do real e do imaginário. No entanto, um acontecimento extraordinário produziu-se no final do século XX, como se o conhecimento científico quisesse celebrar, de sua maneira, o centenário do nascimento da Mecânica Quântica: a passagem repentina das idéias que pareciam reservadas, a apenas alguns anos, aos debates dos iniciados – a não-separabilidade, o indeterminismo, a redução do pacote de ondas,

as relações de incerteza – em direção às aplicações práticas que dizem respeito à nossa vida cotidiana. Uma teoria nova – A Teoria Quântica da Informação – nasce, graças ao feliz e inesperado casamento entre a Teoria da Informação e a Teoria Quântica. Expressões novas, como “criptografia quântica” e “computadores quânticos” fazem sua aparição nas publicações científicas mais prestigiadas. E mesmo uma palavra como “teletransporte”, que fascina a imaginação dos leitores das obras de ficção científica, ou jovens espectadores dos filmes deste gênero, faz sua entrada no mundo sério da ciência: o “teletransporte quântico”. Uma verdadeira explosão de publicações nestas novas áreas é acompanhada de investimentos financeiros consideráveis. E se o dinheiro se mistura a isso, quer dizer que não se trata certamente da metafísica ou da poesia. Trata-se de quê? No centro de todos estes desenvolvimentos, encontra-se o princípio de superposição quântica, ilustrado pelo célebre gato quântico de Schrödinger morto e vivo ao mesmo tempo. Este gato estranho está vivo com uma certa probabilidade, morto com uma outra, sendo a soma destas duas probabilidades 100%. Nenhuma medida em nosso mundo, mostrando-nos claramente que o gato está vivo ou morto pode abolir o que acontece no mundo quântico, onde o gato não está morto nem vivo. É precisamente este princípio de superposição quântica que engendra todos os supostos paradoxos quânticos e as grandes dificuldades de compreensão dos fenômenos quânticos, quando eles são analisados por meio da matriz do realismo clássico. Mas o mesmo princípio poderia conduzir ao nascimento de uma nova espécie de computadores – os computadores quânticos. É uma casualidade que o primeiro pesquisador que tenha pensado na possibilidade de computadores quânticos seja o grande físico teórico Richard Feynman<sup>70</sup>, figura emblemática da Física

<sup>69</sup> Conferir entrevista com David Le Breton na *IHU On-Line* n. 121, de 1º de novembro de 2004, no sítio [www.unisinos.br/ihu](http://www.unisinos.br/ihu). (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>70</sup> Richard Feynman, (1918-1988): físico norte-americano que ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1965. Considerado um dos maiores físicos do século XX e famoso por suas excelentes palestras, foi participante do Projeto Manhattan e grande divulgador da ciência. Suas características pessoais mais marcantes eram a sua grande curiosidade e o seu gosto por problemas lógicos, sempre investigando as causas e implicações desde pequenos fenômenos do cotidiano até os aspectos mais profundos da matéria. (Nota da *IHU On-Line*).

do século XX e homem de grande abertura a outras áreas de conhecimento?

### **IHU On-Line – No que consiste um computador quântico?**

**Basarab Nicolescu** – A idéia fundamental dos computadores quânticos é relativamente simples. Todo o mundo sabe que toda informação sobre um texto, uma imagem ou um som é codificada em nossos computadores por uma série de 0 e de 1. A unidade fundamental de informação é o *bit* (palavra que vem do inglês *binary digit*), que pode ter dois valores: 0 e 1. Este *bit* já é, por sua natureza, quântico, pois significa uma propriedade quântica: um *spin*, uma polarização ou um nível energético. Entretanto, sua leitura, em nossos computadores atuais, é clássica: um *bit* será descrito por um número, dois – por dois, três – por três,  $n$  – por  $n$ . Sua leitura quântica será radicalmente diferente: o bit quântico – ou *kilobits* – terá *simultaneamente* os valores 0 e 1, cada valor sendo afetado por uma certa probabilidade. Então, dois *kilobits* serão descritos por 4 coeficientes, três – por 8 coeficientes e  $n$  – por  $2^n$  coeficientes. Por exemplo, se  $n = 50$ , então 1015 números são necessários para descrever todos os estados do computador quântico, o que ultrapassa as capacidades de nossos computadores atuais. À medida que o cálculo é desenvolvido, os estados quânticos se tornam mais “intricados” (*intriqués*)<sup>71</sup>: a não-separabilidade quântica desempenha plenamente seu papel. Tudo acontece como se um computador quântico fosse o equivalente de um imenso número de calculadores clássicos, calculando, simultaneamente, cada um num mundo paralelo ao nosso. Evidentemente, estamos ainda muito longe da realização efetiva destes computadores quânticos, pois a incoerência ameaça a sua existência. Mas os progressos – ao mesmo tempo teóricos e experimentais – são muito rápidos, e estes calculadores poderiam fazer sua aparição em

nossa vida cotidiana nas próximas décadas. O fenômeno de intricação (*intrication*) dos estados quânticos permite a transição de uma “mensagem quântica” à distância. Não se trata da teleportação de um objeto, de uma pessoa ou de uma alma, mas das propriedades quânticas. Estamos longe de *Star Trek*<sup>72</sup>, porém nos encontramos em um mundo tão perturbador quanto este.

### **IHU On-Line – O senhor poderia discorrer sobre outra decorrência do iminente mundo quântico?**

**Basarab Nicolescu** – O princípio de sobreposição quântica tem conseqüências importantes sobre a criptografia, termo que designa a elaboração de um código decifrável somente pelo emissor e o destinatário. A idéia de uma criptografia quântica foi emitida em 1983-1985. A particularidade do “código quântico” é que ele é imbatível: todo espião que tentar decifrar a mensagem transmitida encontrará uma falsa mensagem, pois sua própria intervenção abolirá as leis quânticas. Terminar-se-á, assim, com o pesadelo do roubo de nossos códigos de cartões bancários. Indo mais além, os efeitos quânticos têm mesmo uma influência certa sobre nossa própria vida biológica e psicológica. Um exemplo é a combinação aleatória de moléculas de DNA no momento da concepção de uma criança. Os efeitos quânticos desempenham, certamente, também um certo papel no funcionamento de nosso cérebro e de nosso consciente. O mundo quântico não está finalmente tão distante. Ele está em nós e, em breve, estará conosco, em nossa vida cotidiana. Em seu célebre conto filosófico *La Conférence des oiseaux* (A Conferência dos pássaros), o poeta persa do século XII, Attar<sup>73</sup>, nos descreve a longa viagem dos pássaros em busca de seu verdadeiro rei, Simorg. Os pássaros atravessam sete vales, cheios de perigos e de maravilhas. O sétimo vale é o vale das coisas surpreendentes. Nele, faz ao mesmo tempo dia e noite, é

<sup>71</sup> Expressão que também designa a não-separabilidade. (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>72</sup> Série televisiva de ficção científica conhecida no Brasil como *Jornada nas Estrelas*. (Nota da **IHU On-Line**).

<sup>73</sup> Farid Uddin Attar (1119-1229): poeta e místico persa. Sua obra principal é o *Mantic Uffair* ou A Conferência dos pássaros, um texto clássico do sufismo persa, que sacudiu como um furacão a espiritualidade do século XII. Relata a viagem que todos os pássaros da terra desejam fazer para o Simung, origem e destino de todo pássaro viajante e de qualquer um que busca o desenvolvimento da consciência. (Nota da **IHU On-Line**).

possível e impossível ver se existe e se não existe, as coisas são ao mesmo tempo vazias e cheias. Se o viajante se prende com toda convicção aos seus hábitos, ao que ele já conhece, torna-se prisioneiro do desencorajamento e do desespero – o mundo lhe parece absurdo, incoerente, insano. Mas se ele aceita abrir-se a este mundo desconhecido, este mundo novo se revela a ele em toda a sua harmonia e coerência. E se fosse nosso próprio mundo o Vale Surpreendente?

**IHU On-Line – Como a emergência das lógicas quânticas nos conduz à transdisciplinaridade?**

**Basarab Nicolescu** – A transdisciplinaridade diz respeito à travessia dos níveis de realidade. Essa travessia pode se operar graças a uma nova lógica, uma lógica quântica, a do “terceiro incluído”, que nos diz que “existe um terceiro termo T, que é, ao mesmo tempo, A e não-A”. Este terceiro incluído é inscrito no cerne da Física Quântica pelo postulado de sobreposição dos estados quânticos. Se continuamos num único nível de realidade, toda manifestação aparece como uma luta entre dois elementos contraditórios (por exemplo, onda A e corpúsculo não-A). O terceiro dinamismo, o do estado T, se exerce em um outro nível de realidade, no qual o que aparece como desunido (onda ou corpúsculo) é, na verdade, unido (*quantum*), e o que aparece contraditório é percebido como não-contraditório. A lógica do terceiro incluído é a da complexidade e talvez a lógica privilegiada, na medida em que ela permite atravessar, de uma maneira coerente, os diferentes campos do conhecimento. A lógica do terceiro incluído é capaz de descrever a coerência entre todos os níveis de realidade por um processo iterativo, que continuará infinitamente até o esgotamento de todos os níveis de realidade, conhecidos ou concebíveis, sem nunca poder chegar a uma teoria totalmente unificada. Nesse sentido, nós podemos falar de uma evolução do conhecimento, sem jamais chegar a uma não-contradição absoluta, implicando todos os níveis de realidade: o conheci-

mento está aberto para sempre. Existe certamente uma “coerência” entre os diferentes níveis de realidade, ao menos no mundo natural. De fato, uma vasta autoconsistência – *um bootstrap*<sup>74</sup> cósmico – parece reger a evolução do universo, do infinitamente pequeno ao infinitamente grande, do infinitamente breve ao infinitamente longo. Um fluxo de informação se transmite de uma maneira coerente de um nível de realidade a um outro de nosso universo físico. A transdisciplinaridade nos permite aproximar racionalmente esta coerência.

**IHU On-Line – O senhor considera possível a coexistência da transdisciplinaridade com as premissas do mercado? Como construir um novo humanismo, quando a produção do conhecimento é prisioneira dos paradigmas do mercado?**

**Basarab Nicolescu** – A transdisciplinaridade nos permite, muito particularmente, renunciar à idéia demasiado simplista, e portanto perigosa, de progresso sem percorrer um evangelho de perdição. Podemos, assim, considerar toda a riqueza de uma “evolução” imprevisível, pois ela está ligada à consistência do ser humano. O progresso é o deus supremo da sociedade de consumo, como foi no passado o deus constitucional da sociedade comunista. O deus relojoeiro do pensamento maquinal é substituído hoje pelo deus mercado. A felicidade ao alcance do bolso. O progresso é masculino – ele significa o fantasma de um poder ilimitado, de uma penetração sem limites no mistério do humano. A evolução é feminina, descontínua, fundada sobre a receptividade do que é, aqui e agora, numa travessia sem fim dos níveis de realidade. A transdisciplinaridade é, a meu ver, o vetor de uma nova forma de ligação entre o ser humano e o mundo. Ela aparece como mediadora do diálogo entre as diferentes culturas e as diferentes religiões.

**IHU On-Line – O senhor considera que o mundo acadêmico está atento ao pensamento complexo e transdisciplinar? Como o se-**

<sup>74</sup> Método computacional intensivo aplicado à Estatística em situações nas quais os métodos existentes não podem ser aplicados diretamente. (Nota da **IHU On-Line**).

**nhor imagina que ele possa prosperar, abrangendo as instituições sociais e seus atores?**

**Basarab Nicolescu** – A chave do problema é a educação. A educação transdisciplinar está próxima das idéias de Paulo Freire em sua dimensão humanista. Os aspectos epistemológicos da transdisciplinaridade, apresentados aqui, foram estudados, no plano prático, em 1997, no Congresso Internacional de Locarno *Quelle Université pour demain? Vers une évolution transdisciplinaire de l'éducation*, organizado pelo Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires (Ciret)<sup>75</sup>, sob os cuidados da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (Unesco). Experiências conformes às recomendações do Congresso de Locarno já estão sendo efetuadas em vários países: no Brasil, no Canadá, na França, na Suíça, na Espanha e na Romênia. O congresso de Locarno estimulou também uma reflexão teórica e a invenção dos métodos de educação em relação com as novas tecnologias da informação e da comunicação. A educação transdisciplinar é uma educação da liberação, que nos permitirá estabelecer laços entre as pessoas, os fatos, as imagens, os campos de conhecimento e de ação, de descobrir os erros do aprendizado durante toda a vida e de construir seres em permanente questionamento e integração.

**IHU On-Line – O senhor gostaria de acrescentar outros comentários ao tema em questão?**

**Basarab Nicolescu** – Estou contente de constatar o interesse crescente do Brasil pela transdisciplinaridade. Cada vez que vou ao Brasil, me sinto em casa.

**IHU On-Line – O senhor se refere ao advento da mecânica quântica como um “escândalo intelectual”, visto que ela abala a lógica clássica. Em que medida esse abalo está efetivamente influenciando a produção de conhecimento?**

**Basarab Nicolescu** – A técnica tem um grande papel neste abalo. Sem os progressos técnicos, é

impossível efetuar as experiências de física que conduzem à formulação da mecânica quântica e, por conseqüência, ao questionamento da validade universal da lógica clássica.

**IHU On-Line – O senhor também afirma que o espaço entre e além das disciplinas “está cheio”. O que contém esse espaço e como esse conteúdo pode ser conceitualizado?**

**Basarab Nicolescu** – Este espaço contém um novo tipo de informação – a informação quântica. Seu conteúdo é conceitualizado pelos três postulados fundamentais da transdisciplinaridade: os níveis de Realidade e de percepção, a lógica do terceiro incluso e a complexidade.

**IHU On-Line – Como a nova produção de um novo conhecimento, para além dos importantes debates no âmbito acadêmico, está influenciando a política, a economia, as questões sociais? Como se manifesta a “lógica quântica” na vida concreta?**

**Basarab Nicolescu** – O processo de mundialização é um grande desafio para toda a humanidade. A transdisciplinaridade pode conduzir a uma mundialização de feição humana, para uma educação transcultural e transreligiosa. Se os políticos desejam verdadeiramente evitar os conflitos mortíferos, eles devem adotar uma atitude transdisciplinar. De modo todo particular, eles devem pôr em dúvida o modelo atual do “todo econômico”. A economia não deve mais dominar nossa vida, mas se pôr ao nosso serviço, incluindo a todos. As relações sociais serão profundamente mudadas, pondo em evidência o terceiro incluído em cada situação complexa. A lógica quântica se manifesta por uma mudança total de nossos hábitos mentais. E nossos hábitos mentais determinam nossas ações.

**IHU On-Line – Em que outros campos do conhecimento a transdisciplinaridade fez, efetivamente, progressos? Quais são os limites e obstáculos que se apresentaram?**

<sup>75</sup> Ver o site Internet <http://perso.club-internet.fr/nicol/ciret/>

**Basarab Nicolescu** – A partir da \_omputaç também se pode mencionar o domínio da saúde. No domínio dos *handicaps* mentais e físicos, a transdisciplinaridade é muito pertinente. Também para os cuidados das pessoas em final de vida e dos lactentes. Enfim, a transdisciplinaridade é capital no domínio da psiquiatria e da psicanálise. Os limites são aqueles impostos artificialmente pela estrutura atual das instituições. Os obstáculos provêm de nossos hábitos mentais, de uma outra época que não esta do século XXI.

**IHU On-Line** – **É possível avaliar o grau de adesão das instituições geradoras de conhecimento ao conceito de “transdisciplinaridade”? Quais as reações na pesquisa científica? É possível realizar um diagnóstico mundial, mesmo preliminar, relativamente à compreensão e adoção deste conceito nas diversas regiões do mundo?**

**Basarab Nicolescu** – Pode-se falar em geral do “grau de adesão” das instituições, mas não pode haver uma adesão global. Esta adesão se faz por pequenos passos, em cada região do mundo e, sobretudo por iniciativas locais tomadas por personalidades conscientes dos percalços da transdisciplinaridade. Do local ao global – tal é o caminho

da transdisciplinaridade. A pesquisa científica continua demasiado especializada e demasiado concentrada em minúsculos territórios do conhecimento. Mas, a pesquisa científica se ressent, inevitavelmente, da precisão de transdisciplinaridade, como, por exemplo, no domínio da neurofisiologia e da genética. Os países mais avançados no domínio da transdisciplinaridade são o Brasil, o Canadá, a Suíça, a Romênia e a Austrália. Alguns passos importantes se operam atualmente na África do Sul.

**IHU On-Line** – **Como podem ser abordadas as relações da lógica quântica com a Teoria dos Sistemas? Qual a contribuição desta para o “escândalo intelectual” acima mencionado? Pode-se dizer que a lógica quântica recuperou e restituiu, em favor do conhecimento humano, a herança da Teoria dos Sistemas?**

**Basarab Nicolescu** – Há um grande parentesco entre a transdisciplinaridade e a Teoria dos Sistemas, sobretudo no reconhecimento do papel da complexidade no conhecimento. Mas, o que falta na teoria dos sistemas e na teoria da complexidade é a noção central da transdisciplinaridade – a de “níveis de Realidade”.

## Dialética para entender a cultura

Entrevista com Paulo Margutti

Paulo Margutti é professor de Filosofia do Departamento de Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Margutti trabalha na área de Lógica e Filosofia da Ciência. É membro do grupo de estudos em Dialética, liderado pelo Prof. Carlos Cirne Lima, da Unisinos. Graduiu-se em Filosofia pela UFMG, e é Ph.D. em Filosofia pela University of Edinburgh, Scotland, UK. É autor de **Iniciação ao Silêncio** (Análise do Tractatus de Wittgenstein). São Paulo: Loyola, 1998 e **Introdução à Lógica Simbólica**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. No livro **Dialética e Auto-organização**. São Leopoldo: Unisinos, 2003, organizado por Carlos Cirne Lima e Luiz Rohden, publicado pela Editora Unisinos em 2003, escreveu o capítulo *Dialética, Lógica Formal e Abordagem Sistêmica, em que discute as idéias de Cirne Lima*

### **IHU On-Line – Quais as reflexões que o senhor apresenta sobre dialética e tempo?**

**Paulo Margutti** – Tendo em vista que participo do GT Dialética como crítico das perspectivas que são oferecidas – sou um filósofo de tendência analítica, e normalmente os analíticos não se dão muito bem com a dialética, de modo geral –, eu trouxe uma contribuição um pouco diferente das passa-

das, já que esta é a terceira vez que participo deste evento. Nas vezes anteriores, eu elaborei avaliações mais ou menos amplas da perspectiva oferecida pelo Prof. Cirne Lima. Desta vez, avancei um pouco mais, aproveitando certos trabalhos que estou fazendo nos estudos de pensamento filosófico brasileiro. Mostrei que a perspectiva que o Prof. Cirne Lima está oferecendo, baseada na transdisciplinaridade de tipo hegeliano, não explica tudo o que ele gostaria que fosse explicado. Parece-me que essa perspectiva é bem sucedida na Biologia. Nas comunidades dos seres vivos e, principalmente, nas comunidades humanas, em que entra a linguagem e toda a problemática correspondente, tenho a impressão de que a abordagem dele enfrentará muitas dificuldades. Minha proposta, então, foi apresentar um problema nesta área, mostrando que nela ainda não há elementos para chegarmos até o ponto referido, por mais boa vontade que tenhamos. É verdade que sou simpatizante da perspectiva transdisciplinar, embora não no viés hegeliano do Prof. Cirne Lima. Acho, por exemplo, que uma das boas idéias sobre essa abordagem apareceu com o Capra<sup>76</sup>, no livro **A Teia da vida**. Entretanto, quando ele tenta explicar a sociedade, no último livro que escreveu, chamado **As conexões ocultas**<sup>77</sup>, falha. E demonstra

<sup>76</sup> O austríaco Fritjof Capra é físico, mas seu trabalho há muito transcende os limites desta ocupação. Cientista, ambientalista, educador e ativista, Capra surgiu para o mundo, após lançar **O tao da física**, no qual discorre sobre os paralelos, a princípio impossíveis, entre a Física Quântica e o misticismo oriental. Estabeleceu-se no posto de pensador holístico com **O ponto de mutação**, explorando as mudanças no paradigma social que acompanham as descobertas científicas. Atualmente vivendo em Berkeley, na Califórnia, Capra fundou o *Center for Ecoliteracy*, uma instituição que forma profissionais para ensinar ecologia nas escolas. Também é professor do Schumacher College, um centro de estudos ecológicos na Inglaterra. Em português, foram publicados, entre outros, os livros: **Pertencendo ao universo**. São Paulo: Cultrix, 2003; **As conexões ocultas**. São Paulo: Cultrix, 2002; **O tao da física**. São Paulo: Cultrix, 2000; **A teia da vida**. São Paulo: Cultrix, 1997; **Sabedoria incomum**. São Paulo: Cultrix, 1995; **O ponto de mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>77</sup> **As conexões ocultas**. São Paulo: Cultrix, 2002. (Nota da *IHU On-Line*)

que ainda há muita coisa por fazer. Desse modo, parece que a perspectiva transdisciplinar, no momento, pelo menos no que diz respeito à explicação de fenômenos mais complexos como a sociedade humana, ainda está mais numa fase programática do que, propriamente, numa fase de realizações. Em minha apresentação, trabalhei uma questão ligada à cultura, ligada, portanto, à linguagem, à comunidade humana e, pelo que me parece, essa situação não seria facilmente explicável naquela perspectiva. Expus, ainda, que há outras maneiras de compreender a dialética que poderiam explicá-la. A principal contribuição que trouxe para este evento foi a tentativa de dizer que é possível fazer, por exemplo, uma interpretação da cultura brasileira, utilizando uma dialética muito pouco hegeliana, que, na verdade, se opõe a ela: a dialética de Kierkegaard<sup>78</sup>. Essa interpretação teria algum fundo de verdade, e não seria facilmente explicável pelo viés transdisciplinar, porque está um pouco além do seu alcance.

**IHU On-Line – Quais as relações mais importantes que foram estabelecidas em dialética, tempo e natureza?**

**Paulo Margutti** – Do ponto de vista da dialética, tempo e natureza, alguma coisa já foi feita, pelo menos no que diz respeito à explicação dos seres vivos. Desde a grande explosão até o aparecimento dos seres vivos, parece que há a possibilidade de explicar alguma coisa, utilizando o aparato que está sendo desenvolvido, mas daí para a frente, fica difícil. Quando pensamos, por exemplo, no tempo da Física, há uma possibilidade de essa perspectiva teórica explicá-lo; quando pensamos na natureza formada por seres vivos, mas não, propriamente, ainda, do ponto de vista das suas relações sociais, também há alguma possibilidade de nos apoiarmos na referida perspectiva teórica. Entretanto, principalmente quando se trata da cultura, a abordagem transdisciplinar se torna defici-

tária. Ela aponta na direção de uma explicação melhor do que aquela meramente física do que constitui o nosso universo, até a vida. Contudo, acima dela, principalmente nas relações entre seres vivos e seres humanos entre si, a coisa se complica – neste ponto, a abordagem transdisciplinar está apenas na fase programática.

**IHU On-Line – Como mudanças das concepções de tempo e espaço, providas de novas tecnologias, influenciariam na compreensão do universo?**

**Paulo Margutti** – Essas mudanças influenciam de uma maneira inteiramente revolucionária. Nesse aspecto, até mesmo a abordagem transdisciplinar ainda é precária para entender. Vou dar um exemplo que pode ajudar a esclarecer alguma coisa. Se pensarmos no que acontece com a Teoria da Relatividade, veremos o seguinte: ela estabelece que, em vista de a velocidade da luz ser constante no universo, significa que três observadores diferentes podem ver dois fenômenos em sucessões temporais completamente diversas. O observador A pode ver o fenômeno 1 como anterior ao fenômeno 2; o observador B pode ver os dois fenômenos como simultâneos; o observador C pode ver o fenômeno 2 como anterior ao fenômeno 1. Isso coloca em questão a própria sucessão temporal e a dialética, por exemplo, se baseia numa idéia clara de que o tempo caminha numa direção específica. Alguns autores sugerem, por exemplo, que a Teoria da Relatividade nos indica que, na realidade, existe um estoque de eventos no universo. Assim, dependendo da posição em que o observador se encontre, aquele estoque de eventos vai aparecer para ele em uma sucessão temporal determinada. Mas isso vai fazer da sucessão temporal uma coisa que não é a mais importante de todas. Com efeito, se dois fenômenos podem ser observados como simultâneos ou sucessivos, inclusive em ordens inversas, fica difícil

<sup>78</sup> Soren Kierkegaard (1813-1855): filósofo e pensador religioso dinamarquês, nascido em Copenhague. Kierkegaard é geralmente considerado um dos fundadores do existencialismo. Exerceu grande influência no pensamento religioso, na Filosofia e na Literatura. Suas diversas obras preocupam-se com a natureza da fé religiosa. De modo mais específico, ele se interessava pelo problema do que significa ser um verdadeiro cristão. Kierkegaard dirigiu duras críticas a todas as tentativas de tornar a religião racional. Sustentava que Deus quer que obedeçamos a ele e não que argumentemos com ele. (Nota da **IHU On-Line**)



acharmos que o tempo tem alguma importância na estrutura do universo. Ele pode ter importância para nós, como observadores particulares em uma determinada posição, o que não significa, porém, que esse tempo seja o tempo. Ora, a perspectiva dialética parte do pressuposto de que temos um tempo único, que é o tempo da história...

**IHU On-Line – Como um tempo absoluto...?**

**Paulo Margutti** – Isso. Como um tempo absoluto. Além disso, parece que as mudanças afetam também a concepção do espaço. Einstein construiu um experimento mental, conhecido como o paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen<sup>79</sup>, porque foram esses três autores que colaboraram neste problema, envolvendo o seguinte: se a Mecânica Quântica estiver certa, então dois fótons, emitidos de uma mesma fonte e que estão imbricados, encontram-se relacionados de uma forma tal que o que acontecer com um vai repercutir no outro, embora estejam a uma distância tão grande que não possa ser percorrida a tempo pela velocidade da luz. Como a velocidade da luz é constante no universo e é a velocidade máxima que pode ser atingida, Einstein considerava isso uma prova de que a Mecânica Quântica estava equivocada. Mas já foram feitos experimentos, admitindo que, efetivamente, esses fótons gêmeos, assim chamados porque estão imbricados, são, realmente, emitidos da mesma fonte, mesmo que estejam suficientemente longe um do outro, para que a comunicação entre eles exija uma velocidade superior à da luz, um repercuta no outro. Se efetuarmos a medição num deles, o outro vai dar uma resposta, apesar de a informação, que vai de um para o outro, não conseguir percorrer a distância entre eles com a velocidade necessária, que teria de ser maior

que a da luz. A resposta vai ser instantânea. Isso sugere a existência de relações não-locais entre esses objetos; não-espaciais, ou em alguma região “abaixo” do espaço. É o que geralmente se chama de “buraco de minhoca”, ligando dois pontos do espaço, na forma de um atalho, que poderia ser percorrido numa velocidade superior à da luz. Isso modifica profundamente a concepção de espaço. Eu não sei se a abordagem sistêmica dá conta dessas modificações, se ela seria a mais adequada.

**IHU On-Line – Como está ocorrendo a ligação entre os grandes sistemas clássicos da dialética com as ciências contemporâneas? Por que esse diálogo é importante?**

**Paulo Margutti** – Quem considera realmente importante essa ligação, essa ponte, é o professor Cirne Lima. Ele faz questão de mostrar que a Teoria dos Sistemas do Bertalanffy, por exemplo, tem origem em Nicolau de Cusa e que esses autores estão ligados aos platônicos. Ele faz questão de mostrar isso, já que a própria filosofia hegeliana tem uma ligação muito grande com esses autores, mas me parece que essa ligação é mais metafórica do que literal. O que aqueles autores disseram no passado pode, realmente, ter alguma semelhança com o que nós estamos dizendo. Pode até servir como fonte de inspiração. A maneira, porém, como a problemática está sendo tratada é muito diferente. Envolve uma mudança de perspectiva que não é facilmente explicável por estes sistemas clássicos.

**IHU On-Line – Envolve circunstâncias diferentes...?**

**Paulo Margutti** – Sim. E, sendo essas circunstâncias tão diferentes, eu sentiria certa dificuldade para fazer uma aproximação mais forte. Há liga-

<sup>79</sup> Para entender o Paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen, ou Paradoxo EPR, é preciso conhecer o motivo do seu surgimento. Einstein foi o fundador da Teoria Quântica. Com base nela, surgiram correntes de pensamento e não era com todas que Einstein concordava. Dentre essas, encontrava-se a Escola de Copenhague, liderada por Niels Bohr. Essa escola apregoava que muitos eventos eram impossíveis de serem determinados, cabendo apenas à estatística defini-los. Einstein discordava disso, pois para ele tudo obedecia a certas regras e bastava descobrirmos essas “variáveis ocultas” para chegarmos exatamente ao resultado. Uma dessas incertezas que Bohr e seus companheiros propunham era que o elétron possui vários eixos de rotação e é impossível determinar em torno de qual ele irá girar, pois o próprio ato de medir já definiria o eixo. Para Einstein, bastava descobrirmos as “variáveis ocultas” que tudo estaria certo. Foi aí que, numa célebre polêmica sobre a Teoria Quântica, Einstein propôs um paradoxo, pensando em derrubar a teoria de Copenhague. Esse paradoxo ficou conhecido como Paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen, ou Paradoxo EPR. (Nota da **IHU On-Line**)

ções, mas elas talvez não sejam tão fortes como, por exemplo, o professor Cirne Lima pretende.

**IHU On-Line – Na apresentação do evento afirma-se que “a Teoria da Evolução, por sua vez – isso foi por nós demonstrado - está em conexão com a Teoria do Caos Determinístico e com a Geometria Fractal. Para poder expressa essa Totalidade em sua hierarquia de um Todo que está dentro de outro Todo, foi introduzida a Teoria dos Sistemas”. Como explicaria essa afirmação para um público leigo?**

**Paulo Margutti** – O que eu posso dizer a respeito da Teoria da Evolução é que, para que seja encaixada na perspectiva transdisciplinar, ela teria que ser pensada não como evolução – até essa palavra teria que ser trocada. Evolução significa que vamos do inferior para o superior, do pior para o melhor, implica, inclusive, uma forma de teleologia, algum finalismo, parece que o universo foi projetado para um determinado fim e a evolução significa que o universo está caminhando em direção àquele fim para o qual ele foi projetado. Na abordagem sistêmica, o máximo que nós podemos dizer, de acordo com uma das teorias existentes, é que o universo surgiu de uma grande explosão; em que o espaço e o tempo se teriam originado. A explicação para isso é a de que é possível construir um modelo matemático que permite isso. Imagine algo em forma de um sino invertido. O ponto no vértice inferior do sino é a origem de tudo. Antes dele não há nada. Então, o espaço-tempo se desenvolve dessa grande explosão, expressa nesse modelo. Essa explosão gerou aquilo que poderíamos chamar de uma “deriva natural”. Ao invés de usarmos a expressão evolução, o nome mais adequado seria esse, conforme sugere Maturana. A explicação da evolução por esse viés poderia ser entendida com o auxílio de uma metáfora. Vamos imaginar uma montanha e alguém que joga água no cume. A água vai descendo e os caminhos que ela escolhe aleatoriamente para descer correspondem à deriva natural. Ela vai encontrá-los à medida que desce; se ela seguir por um lado vai encontrar tal desvio à direita ou à esquerda; se seguir por outro, vai encontrar

um desvio diferente. Esses caminhos, que vão surgindo de uma maneira mais ou menos aleatória, mais ou menos caótica, determinariam o que seria a “evolução”, ou melhor, a deriva natural. Nessa deriva natural, apareceriam os sistemas auto-organizados, como, por exemplo, uma estrela. Ela nada mais é do que o resultado da força gravitacional sobre uma quantidade muito grande de gás hidrogênio, por exemplo. As partículas de gás vão se atraindo mutuamente e, num determinado ponto, elas formam um aglomerado. Esse aglomerado vai atraindo mais partículas, gerando uma compressão muito grande dos átomos que se encontram no interior, produzindo reações nucleares e gerando uma força de expansão. Se a força de atração for suficientemente grande para compensar a força de expansão, a estrela vai se manter equilibrada e produzirá luz e calor. Na sua evolução, num determinado momento, ela explode. Ela começa como uma estrela de hidrogênio, mas produz um elemento mais pesado, o hélio. Aos poucos, vamos tendo estrelas de outros elementos, e as explosões das estrelas vão gerando restos de explosões estelares. Estes restos é que vão gerar planetas, pela força da gravitação, e nesses planetas vão surgir estruturas dissipativas que seriam os seres vivos. Assim, a Teoria da Evolução estaria em conexão com a Teoria do Caos Determinístico. Para entender as estruturas dissipativas, que correspondem aos seres vivos, imaginemos uma outra situação. Se tivermos uma banheira fechada, com água, ela ficará parada. Se tirarmos a tampa do ralo, a água começará a descer e, espontaneamente, formará um redemoinho. Esse redemoinho é uma estrutura auto-organizada que se preserva até certo ponto, pois, se o atrapalharmos com um movimento da mão, ele compensará a perturbação e voltará a se formar. Ele é auto-organizado, com mecanismos de retroalimentação que o mantém naquele processo em redemoinho. Isso constitui o que Prigogine chama de estrutura dissipativa. Ela se mantém organizada através da dissipação de energia. Essa estrutura é um modelo interessante para entendermos a nós mesmos: seríamos estruturas dissipativas. Não somos redemoinhos de água, mas somos redemoinhos químicos. Somos estruturas que se or-

ganizaram oportunisticamente, neste universo. Estamos dissipando energia mas, ao mesmo tempo, mediante a dissipação, mantemos uma determinada estrutura constante. Ora, a noção de evolução, não como evolução, e sim como deriva natural, seria um modelo importante para explicar como chegamos a esse ponto. E. para estudarmos essas estruturas dissipativas, precisamos de uma matemática especial, como a dos fractais, e de teorias especiais, como a do Caos...

***IHU On-Line – Nesse aspecto seria salutar que as diversas teorias convergissem na realização desse estudo?***

**Paulo Margutti** – Sim. Nós estamos chegando a um ponto em que, se as diversas perspectivas não convergirem na explicação, não se associarem, não vamos conseguir fazer muita coisa.

***IHU On-Line – O que a Teoria da Relatividade não consegue explicar?***

**Paulo Margutti** – Parece que há fenômenos, em relação ao quântico, que a Teoria da Relatividade não consegue explicar. Aliás, existe hoje um conflito entre a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica. Como os campos, os domínios de aplicação dessas teorias são diferentes, isso não está ainda criando um conflito maior, mas possivelmente irá criar uma dificuldade em se conseguir

uma perspectiva única que seja capaz de unir as duas teorias. Isso talvez signifique um obstáculo muito difícil de ser transposto em relação ao que foi comentado na pergunta anterior, porque é preciso que as diversas teorias sejam capazes de convergir na explicação. Se não houver essa convergência, vai ser difícil. Nesse caso, vamos ter que nos contentar com uma pluralidade descritiva: mais de uma teoria, teorias alternativas para explicar campos, domínios da realidade diferentes, podendo ser um desses domínios aquele que a abordagem transdisciplinar explica. Em alguns outros aspectos, muito possivelmente a abordagem transdisciplinar não daria conta do recado.

***IHU On-Line – Mas isso não acabaria aumentando a fragmentação, que já é bastante grande, das áreas de conhecimento?***

**Paulo Margutti** – Possivelmente sim, mas o que se há de fazer? O ideal seria encontrar uma perspectiva integradora e, no momento, todos se esforçam nessa direção. Pessoalmente, simpatizo muito com a perspectiva transdisciplinar e penso que ela constitui a nossa melhor aposta no momento, em que pesem as suas dificuldades. Todavia, se nós não encontrarmos uma perspectiva suficientemente ampla, integradora, que seja capaz de reunir tudo, vamos ter que nos contentar com as descrições parciais. O futuro dirá o que vai acontecer.

## **“É preciso combater a idéia de que há uma solução técnica e simples para qualquer problema”**

*Entrevista com Thomas Michael Lewinsohn*

Thomas Michael é professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Ele é graduado em Biologia, mestre em Ecologia, doutor em Ecologia pela Unicamp e pós-doutor pelo Center For Population Biology Imperial College (Inglaterra) e pelo National Center For Ecological Analysis And Synthesis (Estados Unidos). Lewinsohn é também livre-docente pela Unicamp. Publicou **Plant-Animal Interactions**. Nova York: John Wiley, 1991 e **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**. Brasília: Contexto, 2002. “O ‘tecnojeito’ é a idéia de que todo o problema pode ser simplificado e que existe uma solução técnica simples para qualquer problema”, disse Thomas Lewinsohn, argumentando que é preciso mudar essa idéia. No **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, ele proferiu a conferência O Impacto humano sobre a vida na Terra.

**IHU On-Line – O senhor afirma que há um grau de incerteza muito grande nos processos biológicos. A Teoria da Auto-Organização vale-se também da incerteza para buscar uma certa previsibilidade dos processos em geral. Pode-se dizer que as ações em defesa da biodiversidade acompanham essa abordagem da auto-organização?**

**Thomas Lewinsohn** – Estão muito próximas de caminharem no mesmo sentido. Mesmo que nós possamos divergir de um ou outro modelo específico da auto-organização, nos aspectos funda-

mentais, estamos plenamente de acordo. Trata-se de conviver com a incerteza e de trabalhar com ela, ou seja, não esperar que tenhamos plena certeza, não contar com a possibilidade de produzir um modelo exato, preciso, rigorosamente determinado em relação aos sistemas biológicos, ecológicos ou sociais. Esses modelos não existem e não existirão. O que nós precisamos e estamos fazendo, tanto na Biologia como nos âmbitos que o professor Küppers<sup>80</sup> mencionou é desenvolver outros modelos que trabalham com o desconhecimento, que incorporam a incerteza e a elaboram como um dado natural. Todo ecólogo trabalha com sistemas que são intrinsecamente complexos, que não podem ser simplificados até que se tornem previsíveis e capazes de ser manejados com tranqüilidade. Nós vamos ter que dar conta desses sistemas, incorporando toda a sua complexidade.

**IHU On-Line – O senhor sustenta que é imperioso não respeitar a lógica econômica. Essa não é uma posição unilateral e, portanto, perigosa?**

**Thomas Lewinsohn** – Não, pois o que eu defendo é que não haja a primazia do econômico. Eu não sustentaria que nós ignoremos essa lógica ou as demandas econômicas. A minha posição é a de não aceitar que, desde o início, elas tenham uma posição privilegiada em relação a outros critérios e outras escalas de valor. É nesse sentido que eu considero imperioso não nos submetemos à lógica econômica. Valores ou prioridades econômicas

<sup>80</sup> Refere-se a Günter Küppers, físico alemão, cuja entrevista também foi publicada neste número. (Nota da **IHU On-Line**)

são componentes de um sistema, mas não devem ser os primeiros componentes de um sistema de decisão mais complexo. Eles devem ser colocados lado a lado com valores sociais, espirituais e afetivos. A vida é mais do que a satisfação de necessidades materiais estabelecidas com base num critério de custo e benefício.

***IHU On-Line – Essa resposta seria uma forma de combater o que o senhor chamou de “tecnojeito”?***

**Thomas Lewinsohn** – Não diretamente. O problema do “tecnojeito” é distinto. O “tecnojeito” é a idéia de que todo o problema pode ser simplificado e que existe uma solução técnica simples para qualquer problema. Nós produzimos essas soluções técnicas, mas a dificuldade não está na solução, propriamente dita, e sim no desconhecimento dos novos problemas que essas soluções criam. É aí que falhamos. Nós olhamos para um rio, consideramos que há um problema de constante alagamento na sua margem, retificamos o rio e aumentamos o fluxo de água. Isso é uma solução técnica. O problema não está na solução em si, mas nos novos problemas que ela cria e que, muitas vezes, vão ser mais complicados ou mais graves do que o problema inicial que estaria sendo aparentemente resolvido.

***IHU On-Line – Isso nos leva para a transdisciplinaridade. Qual é a sua opinião sobre esse debate? O País, as universidades têm se posicionado bem? Podemos ser otimistas nesse campo?***

**Thomas Lewinsohn** – Cautelosamente otimistas. Otimistas no sentido de ver como muito saudável a circulação dessa idéia, a preocupação com essa idéia. A cautela vem do fato de que a transdisciplinaridade e a interdisciplinaridade não são passíveis de legislação, não se estabelecem por uma decisão institucional. A transdisciplinaridade só é construída de fato com muita persistência, com um convívio longo e paciente de pessoas que trazem experiências e bagagens diferentes das suas disciplinas e que se dispõem a aprender o vocabulário e um pouco do conhecimento dos outros, sem achar *a priori* que o seu próprio conhecimen-

to é mais importante do que o conhecimento dos demais. Então a transdisciplinaridade é necessária e alcançável, mas ela não se produz instantaneamente. As pessoas têm que se dispor a trabalhar juntas, a se ouvirem por bastante tempo, antes que ela comece a produzir frutos genuínos.

***IHU On-Line – A expressão biodiversidade tem freqüentado exaustivamente a mídia. O senhor acha que ela tem sido compreendida na sua complexidade?***

**Thomas Lewinsohn** – Não inteiramente. Tenho a impressão de que a visão pública que se tem hoje da biodiversidade é ainda bastante parcial. Ela abrange só alguns aspectos e, principalmente, valoriza o que nós chamamos de “espécies-bandeiras”, as mais carismáticas, que atraem a atenção pública, como o mico-leão e outras espécies ameaçadas de extinção. Por isso, não há muita clareza sobre a existência de uma imensa diversidade de pequenos organismos, que, normalmente, não são notados: pequenos insetos, animais de solo... E também há pouco conhecimento da tremenda importância que esses pequenos organismos têm para o funcionamento e para a manutenção dos ecossistemas. Ainda há muito por melhorar nessa compreensão pública da biodiversidade.

***IHU On-Line – Sobre as ações do governo relativas à biodiversidade, nós podemos ser também otimistas, ainda que contidamente?***

**Thomas Lewinsohn** – Em parte, sim. Não falo só do governo federal, mas também dos estaduais e municipais, que, às vezes, adotam iniciativas com as quais, há dez anos, nem sonhávamos. Há muitas iniciativas de âmbito local e regional que são interessantes; há também no âmbito federal, no Ministério do Meio Ambiente, em alguns dos seus grupos de técnicos, uma compreensão e iniciativas que merecem atenção e apoio. Por outro lado, nessa área, como em outras, o governo nem sempre é consistente, há divergências fortes entre diferentes setores do próprio governo. Em particular, eu tenho que mencionar o fato de que os pesquisadores, os cientistas brasileiros, hoje enfrentam dificuldades muito grandes, particularmente com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos

Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Ele tem regulamentado a atividade de pesquisa com novos instrumentos legais que, na prática, representam uma camisa-de-força. Embora sejam instrumentos bem-intencionados que têm por objetivo, por exemplo, coibir a biopirataria, eles acabaram atingindo muito fortemente a atividade de pesquisa genuína, que é altamente necessária para o País, com resultados, no momento, bastante contraproducentes. O que eu tenho dito é que, preocupados com a biopirataria, alguns desses órgãos federais, miraram o bandido, po-

rém acertaram o cavalo do mocinho, deixando a gente realmente a pé.

***IHU On-Line* – Não estamos permanentemente em busca de uma Terra habitável?**

**Thomas Lewinsohn** – Há certos problemas que, por mais antigos que sejam, são atuais, porque nunca estão inteiramente resolvidos. Digamos que o tema desse simpósio talvez possa ser traduzido não pela indagação se teremos um futuro habitável, mas pela interrogação sobre qual será a qualidade da habitação, como será a habitabilidade da Terra, como nós gostaríamos que ela fosse.

## A Cosmologia está mudando a forma humana de pensar

Entrevista com Mário Novello

Mário Novello é professor do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, onde é coordenador do Laboratório de Cosmologia e Física Experimental de Altas Energias. É mestre em Física pelo CBPF e doutor em Física pela Université de Genève (Suíça), com a tese *Algebre de l'espace-temps*, pós-doutor pela University of Oxford (Inglaterra) e doutor honoris causa pela Universidade de Lyon (França). Conquistou prêmios internacionais, destacando-se a menção honrosa por teses em *Cosmologia e Teoria da Gravitação*, concedida pela Gravity Research Foundation (USA). É autor de mais de 150 artigos e dos livros: **Cosmos et Contexte**. Paris: Masson, 1987; **Cosmos e Contexto**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1989. **Cosmologie**. Paris: Ellipses, 1992 (com Elbaz E.); **Cosmology and Gravitation**; Paris: Frontières, 1994 (org.); **Cosmology and Gravitation II**. Cingapura: Frontières, 1996 (org.); **O Círculo do Tempo: Um olhar científico sobre viagens não-convencionais no tempo**. Rio de Janeiro: Campus, 1997; **Cosmology and Gravitation**. Paris: Atlantisciences, 2000 (org.); **Os sonhos atribulados de Maria Luísa**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000; **Le cercle du temps**. Paris: Atlantica-Seguiet, 2001; **Artificial Black Holes**. Cingapura: World Scientific Publishing Co., 2002 (org. com Volovik, G. e Visser, M.); **Os jogos da natureza**. Rio de Janeiro: Campus, 2004; **Máquina do tempo – Um Olhar Científico**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.

**IHU On-Line – A Cosmologia passou a ser considerada ciência recentemente. No que ela consiste e por que não era considerada uma ciência?**

**Mário Novello** – Por uma razão muito simples. A Cosmologia tratava de uma totalidade chamada universo, isto é, espaço, tempo, matéria e energia, e as pessoas argumentavam que toda a experiência feita pelo homem é limitada no espaço e no tempo. Como tal, a totalidade do espaço e do tempo não teria possibilidade de ser observada. Isso foi descartado, porque, em 1929, Hubble<sup>81</sup> mostrou que as observações que ele estava fazendo de estrelas e galáxias, apontavam que havia um processo global do universo e que podia ser interpretada como sendo a expansão do volume do universo. Ou seja, o volume total do universo estava variando com o tempo e, conseqüentemente, o volume total podia ser observado como tal, quer dizer, não era uma região pequena do espaço-tempo que estava sendo observada, mas era um processo global, passível de ser observado. Conseqüentemente, a Cosmologia, como qualquer ciência, tinha o seu objeto de estudo: o universo.

**IHU On-Line – O universo passa a ser observável?**

**Mário Novello** – Sim. As experiências, as observações até então, eram localizadas no espaço e no tempo. Quando a experiência é feita em um labo-

---

<sup>81</sup> Edwin Hubble (1889–1953): astrofísico norte-americano. Descobriu a natureza verdadeira das galáxias, determinou a distância de várias delas, evidenciou o movimento que as leva a se afastarem umas das outras e encontrou uma relação entre sua velocidade de recessão e sua distância, a qual é considerada uma prova de expansão do universo. Um satélite norte-americano recebeu o seu nome (1993). (Nota da **IHU On-Line**)

ratório, que é um sistema fechado, espacialmente falando, a experiência tem um certo tempo de duração. Quando olhamos para estrelas, mesmo essas observações são limitadas no espaço e no tempo. Hubble mostrou que se poderia observar o todo.

**IHU On-Line – Pode-se dizer, então, “este é o universo”?**

**Mário Novello** – Exatamente. Passou-se a poder dizer: este é o universo, o qual a Cosmologia vai tratar de entender.

**IHU On-Line – Quais são as decorrências da evolução dos estudos da Física e da Cosmologia para uma Terra habitável?**

**Mário Novello** – Temos dois aspectos. Um estritamente técnico, prático, do conhecimento da Física, que pode ter conseqüências no conhecimento da Terra. Outro, um aspecto mais profundo de conhecimento do pensamento, porque ao fazer Cosmologia nós nos envolvemos com uma estrutura de pensamento, contendo a totalidade do que existe e, no fundo, ao examinarmos essa estrutura global, fazemos referências, conexões e inferências sobre processos que são limitados no espaço e no tempo, mesmo sobre processos de pensamento localizado, como, por exemplo, a lógica. A Cosmologia está mudando certos hábitos de pensamento. Atualmente, já se começa a pensar que as propriedades que nós temos na Terra têm muito a ver com as propriedades do universo, e não o contrário.

**IHU On-Line – O senhor pode exemplificar?**

**Mário Novello** – Antigamente, se pensava que a totalidade era um processo a ser definido de duas pequenas partes. Seria um processo evolutivo que começava pelos *quarks*, as partículas elementares, e ia num crescendo. Hoje vemos a contrapartida disso, ou seja, o movimento global do universo, produzindo situações que são descritas como conseqüência da evolução do universo em propriedades localizadas – as partículas elementares. Isso demonstra que nem uma direção nem a outra são preponderantes e não deveriam ser o único modo pelo qual o homem descreve o que existe. Há um

compromisso entre as duas coisas. Isso está nos mostrando que o movimento de pensar a totalidade é muito amplo. A cosmologia está nos dando essa abertura para esse modo de pensar e libertando o homem dos grilhões que o aprisionaram durante milhares de anos, impedindo-o de ter uma visão global do mundo em que vivemos – nesse caso, me refiro ao universo em que vivemos.

**IHU On-Line – Há duas verdades?**

**Mário Novello** – Ambas as visões são somente pedaços da verdade. O que está se descobrindo é que assim como os constituintes elementares da matéria, a microfísica, influenciam o universo, a microfísica, o universo, tem uma importância muito grande na própria caracterização dos estágios fundamentais da matéria, o que era inimaginável há pouco tempo. Na verdade, estamos descobrindo que há uma dialética nesse movimento, mas é uma dialética que não se esgota nesse processo.

**IHU On-Line – Como podem ser relacionados esses avanços da abordagem cosmológica com as teorias do Caos e dos Sistemas?**

**Mário Novello** – A Teoria do Caos nada mais é do que um processo que ocorre em teorias não-lineares. No final da segunda metade do século XX, os físicos entraram de vez nos processos não-lineares, na Física. Embora algumas das teorias mais importantes, como a Teoria da Relatividade Geral, de Einstein, de 1915, já fosse uma teoria não-linear. Por várias razões, não se usou a Teoria da Relatividade Geral como paradigma das teorias não-lineares. Demorou muito tempo até que essa teoria fosse entendida, em certas circunstâncias, como um processo que podia admitir uma interpretação de sistema dinâmico. Mas é claro que o sistema dinâmico é apenas um modo pelo qual se pode ver o processo evolutivo. A Cosmologia é muito mais rica do que isso. Podemos encontrar processos caóticos em alguns aspectos da Teoria da Gravitação e em alguns aspectos da Cosmologia. Por exemplo, uma teoria em voga nos anos 1970 argumentava que muitas das propriedades do universo observável, como a isotropia espacial, nada mais eram do que a conse-



qüência de uma fase caótica que teria ocorrido em uma região extremamente condensada do universo, que teria homogeneizado o espaço. Na Cosmologia, em vários exemplos, pode ser detectada a aplicação de sistemas dinâmicos.

**IHU On-Line – Em relação à Cosmologia, qual o lugar do ser humano no universo?**

**Mário Novello** – Há centenas de bilhões de galáxias e de estrelas no universo, mas somos nós que estamos tentando entender isso. Embora o nosso papel seja aparentemente insignificante no universo, não deixa de ser interessante que estejamos conseguindo entender essa quantidade fabulosa de objetos, de energias, de matérias que existem no universo. Eu não acho que deva se extrair da Cosmologia – não nesse momento – um modo pelo qual se comporta uma sociedade, mas eu acho que se pode extrair algumas circunstâncias envolvendo a espécie humana. A espécie humana sofreu, ao longo da história, como disse Freud, três golpes profundos no seu orgulho. Primeiro, foi quando se mostrou que a Terra não era o centro do universo, no século XV. Depois, quando Darwin mostrou que havia um processo evolutivo das espécies e que talvez a própria raça humana fosse uma consequência dele. E o terceiro grande golpe veio do próprio Freud, que disse essas frases e demonstrou que alguns momentos do nosso cotidiano, os quais apresentamos como racionais têm, na verdade, motivações altamente irracionais, pois a Cosmologia está mostrando que há um quarto golpe, sendo desferido sobre a espécie humana, que consiste no fato de que, talvez, a própria linguagem newtoniana, com a qual nós tentamos descrever o que existe, não é aplicável em todas as circunstâncias. O que isso quer dizer? Quer dizer que, no momento em que o universo passa de uma fase “colapsante” para uma fase de expansão, há circunstâncias que podem ser descritas como se houvesse coisas materiais que não são representadas no espaço e no tempo. Ora, é quase inimaginável para todo o mundo pensar que se possa aplicar a palavra “existir” para algo que esteja fora do espaço e do tempo. Para nós, existir é ser representado no espaço e no tempo. O que os físicos estão mostrando é que o espa-

ço-tempo pode ser uma estrutura construída. Isso é um golpe tremendo na nossa imagem mental do mundo. Isso ataca o nosso orgulho como espécie. Por um lado, temos orgulho porque somos nós que estamos tentando construir essa estrutura matemática que descreve o universo; por outro lado, não estamos utilizando o nosso mundo mental para representar o que existe. Ainda vamos levar alguns anos, talvez décadas, para conciliar essas concepções. Trata-se de uma revolução mental. Esses processos representam uma revolução em marcha, as preocupações que motivaram o Simpósio Terra Habitável demonstram isso. Mas há uma revolução de caráter diferente, mais profunda, com a discussão desses aspectos da Cosmologia, na produção dessa passagem de um colapso para uma expansão do universo, que mexe com conceitos que estão lá atrás, no nosso imaginário mais remoto e que nem sequer são discutidos no cotidiano.

**IHU On-Line – As universidades estão dando a atenção necessária para esses debates? A discussão desses assuntos está indo bem?**

**Mário Novello** – Não, não vai bem. Uma catástrofe que atinge os sistemas universitários brasileiro e mundial é a separação em departamentos. Temos uma universidade que não é uma “uni-versidade”. A maior parte das universidades brasileiras tem institutos separados física e geograficamente uns dos outros, nos quais o pessoal de Geografia interage com o pessoal de Geografia, o pessoal de Física com o de Física, o de Química com os químicos e assim por diante. Disso resultam técnicos e profissionais que têm uma vaga idéia do que está acontecendo na vizinhança. Há movimentos tentando unir os conhecimentos, como este Simpósio, que também ocorrem em outros lugares, mas isso é muito pouco. Na verdade, no cenário da inteligência brasileira, isso é muito pouco. Muito mais deveria ser feito nas universidades. Essas barreiras deveriam ser quebradas, e quebradas violentamente, porque elas não serão quebradas por dentro. As pessoas, que têm seus institutos programados e uma estrutura de poder interno muito bem delineada, não vão abrir

mão dele. No fundo, o que temos é um jogo de poder, não é o conhecimento que está sendo buscado. Nessas estruturas, o que se procura não é conhecimento, e sim, manter o *status quo* para gerar uma estrutura política. É desagradável o que eu estou falando, mas é o que eu vejo no cotidiano das nossas universidades. Para mudarmos isso, esse tipo de reunião que está ocorrendo aqui deveria acontecer cotidianamente, em todas as universidades. Como se vê, é quase impossível que isso se dê. Por isso, eu acho que deveria haver uma revolução *stricto sensu* na educação. Estamos formando pessoas altamente competentes, em várias áreas, mas sem o poder de compreender as coisas globalmente, e isso é a pior coisa que existe. Vemos, por exemplo, que o movimento ecológico está tentando demonstrar que há conexões muito maiores do que imaginávamos entre

diferentes áreas. Isso é muito mais profundo, como a Cosmologia está demonstrando. Ela precisa de toda a gama de físicos para tentar esboçar uma idéia mais simples possível do universo e, no fundo, estamos jogando com diferentes áreas do conhecimento. Ora, isso só é possível se houver uma troca, que não está acontecendo no cotidiano. Formamos pessoas como se formássemos operários extremamente competentes numa determinada área. Talvez isso seja mesmo resultado do sistema em que vivemos: um capitalismo selvagem. Na verdade, todo o sistema universitário brasileiro não busca o conhecimento. Claro que isso não é exclusivamente um problema brasileiro, isso reflete o momento que estamos vivendo. Por isso, se deveria quebrar a estrutura do poder intelectual acadêmico universitário.

## A dimensão espiritual do cosmos

*Entrevista com Paul Schweitzer*

*Paul Alexander Schweitzer é professor da PUC-Rio. Graduado em Teologia e Matemática e mestre em Filosofia, o pesquisador é doutor em Matemática pela Universidade de Princeton (Estados Unidos) e pós-doutor pelo Instituto de Estudos Avançados da mesma universidade.*

### **IHU On-Line – Quais foram as principais idéias desenvolvidas na oficina *A dimensão espiritual da realidade do cosmos*?**

**Paul Schweitzer** – Eu me detive bastante na relação entre matéria e espírito. Teilhard de Chardin referia-se à lei da complexidade e da consciência. Sua idéia é que a consciência é uma realidade que está presente em tudo o que existe, desde a menor partícula até o ser humano. Ela se manifesta à medida que a matéria se organiza em formas mais complexas que permitem o funcionamento da consciência. Descartes separa matéria e espírito, Teilhard, por sua vez, reconhece que matéria e espírito são dois aspectos reais do mundo. O ser humano tem consciência reflexiva: somos os únicos que sabemos, e sabemos que sabemos, mas há consciência em animais e organismos mais primitivos. Aspectos da consciência estão presentes em todo o universo, e essa consciência se manifesta à medida que a matéria se organizada em formas

complexas. O cérebro humano permite que nossa consciência chegue a um nível de reflexão e auto-conhecimento. Teilhard fala também do poder espiritual da matéria. Ele vê o espírito de Deus agindo em toda a realidade, não somente o espírito finito, o ser humano com toda a sua consciência, também o espírito de Deus que age em toda a natureza. Ele afirma que há uma direção na evolução, no progresso, no desenvolvimento. Não é que tudo seja meramente aleatório. O espírito está presente, guiando e fortalecendo essa evolução.

### **IHU On-Line – Como a Matemática ajuda a compreender os desafios do mundo habitável?**

**Paul Schweitzer** – A Matemática hoje não se refere tanto às questões de números, embora haja isso. Vemos, nas palestras deste Simpósio, muitos gráficos com números que mostram a degradação do Planeta, os problemas quantificados, mas é na área das modelagens que a Matemática pode ajudar mais. Ela oferece estruturas de pensamento, estruturas abstratas, que podem ser aplicadas para modelar um processo, podendo ajudar a planejar a maneira de encontrar os meios para chegar a implementar o projeto ecológico, como o prof. Latouche<sup>82</sup> falava, um projeto de decresci-

---

<sup>82</sup> Serge Latouche é professor na Universidade de Paris-Sul e presidente da Associação Linha do Horizonte. É autor de diversos livros. Entre eles, *Les Dangers du marché planétaire* (Os perigos do mercado planetário). Paris: Presses de Sciences, 1998; *La déraison de la raison économique*. Paris: Albin Michel, 2001; *La pensée créative contre l'économie de l'absurde*. Paris: Parangon, 2003; *Justice sans limites – Le défi de l'éthique dans une économie mondialisée* (Justiça sem limites. O desafio da ética numa economia globalizada), Paris: Fayard, 2003. Latouche publicou, no Brasil, *A Ocidentalização do Mundo*. Petrópolis: Vozes, 1994. Serge Latouche foi entrevistado pela *IHU On-Line* na edição nº 100, de 10-05-2004 e na 141, de 16-05-2005. Latouche fez a conferência *Crescimento econômico e decrescimento. Os desafios da vida da Terra para a economia contemporânea* no **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, na manhã do dia 18 de maio de 2005. (Nota da *IHU On-Line*)

mento em vez do crescimento maior da economia e chegar, assim, a uma vida sustentável.

***IHU On-Line – Qual foi o impacto de Teilhard em seu tempo?***

**Paul Schweitzer** – Foi positivo. O fato de a Igreja Católica ter assimilado a teoria da evolução, sem fazer a bobagem de condená-la, deve-se, em grande parte, ao trabalho de Teilhard. Ele era um visionário. A idéia de planetização, de noosfera, em que não somente haveria seres humanos individuais espalhados pela Terra, mas a formação de uma rede de intercomunicação cada vez mais forte foi prevista por ele. Nos últimos 15 anos, assistimos ao desenvolvimento da Internet, a comunicação instantânea, essa comunicação em rede que está acontecendo, e ainda vai provocar resultados imprevisíveis.

***IHU On-Line – Como a universidade poderia preparar-se melhor para os desafios que apresenta uma Terra habitável?***

**Paul Schweitzer** – O exemplo de Teilhard nos ajuda a pensar isso. Ele era uma pessoa que traba-

lhava em vários campos diferentes, que unia as diversas disciplinas numa visão global, o que é muito difícil. Na universidade, é necessário que haja uma base de informação e formação em cada disciplina, senão ficamos na superficialidade. Entretanto, a estrutura da vida moderna deixa a pessoa sob pressão o tempo todo e gastamos muito tempo em engarrafamentos de trânsito, trabalhamos o dia todo e continuamos o trabalho em casa. As universidades não têm uma vida fora das aulas. Ideal seria que o aluno tivesse tempo livre para estar, pensar, conversar com os colegas, cultivar essa visão mais global.

***IHU On-Line – Como Teilhard se teria sentido se tivesse participado deste evento?***

**Paul Schweitzer** – Certamente muito feliz. O grande problema dele foi não ter muitas oportunidades de discutir suas idéias com o público. Ele foi proibido de publicar certas obras. E foi, mais ou menos, exilado na China. Então teria ficado muito feliz de estar em um lugar no qual pudesse apresentar suas idéias e escutar as respostas. Esse intercâmbio teria sido maravilhoso para ele.

## Filosofia, bioinformática e tecnoumanismo

### Entrevista com Timothy Lenoir

Timothy Lenoir é coordenador do Programa em História e Filosofia da Ciência da Universidade de Stanford (Estados Unidos). É doutor em História e Filosofia da Ciência pela Universidade de Indiana. Ocupa a Kimberly Jenkins Chair da Universidade de Duke. É pesquisador com interesse interdisciplinar em humanidades, ciências e engenharia. Possui extensa lista de publicações sobre a história da matemática no século XVII, história da biologia e fisiologia alemã no século XIX, sobre o impacto do uso da informática nas ciências, sobre conceito e implicações da tecnociência e sobre a produção de materiais digitais para a pesquisa na área de filosofia e história das ciências. Entre seus temas de interesse atual, está a discussão da necessidade de se repensar um papel para as humanidades à luz dos grandes avanços tecnológicos, propondo o que chama de tecnoumanismo. Timothy Lenoir foi o responsável por duas conferências no **Colóquio Internacional Filosofia e Ciência: Redesenhando horizontes**. A primeira teve o seguinte título: Réquiem para o Cyborg, e a segunda, que encerrou o Colóquio, Inventando a Universidade empreendedora: Stanford e a co-evolução do Vale do Silício.

Durante o Colóquio, foi lançada a tradução portuguesa do livro de T. Lenoir, **Instituindo a Ciência. A produção cultural das disciplinas científicas**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. Agradecemos o auxílio da professora Dr.<sup>a</sup> Anna Carolina Regner, professora no PPG de Filosofia da Unisinos e coordenadora do Colóquio Internacional, que serviu de intérprete da entrevista.

Para o professor Dr. Timothy Lenoir “A ciência contemporânea está indo na direção de um casamento com a tecnologia, o que cria tipos dife-

rentes de perguntas, tipos diferentes de questões que a filosofia da ciência tradicional não aborda”. Segundo ele, houve uma explosão no passado, em torno das guerras da ciência, em que o cientista e o filósofo simplesmente não se compreendiam. “Chegar a um entendimento e criar uma filosofia da ciência mais compatível, que aborda as verdadeiras preocupações da ciência, que eu chamo de ‘tecnociência’, me parece ser a principal questão hoje”, salienta Lenoir.

### **IHU On-Line – Quais são os principais desafios para um diálogo entre a Filosofia e a ciência hoje?**

**Timothy Lenoir** – Há várias questões-chave em que a Filosofia e a ciência se confrontam. Um dos principais problemas tem sido a falta de compreensão dos filósofos sobre o tipo de coisas que os cientistas buscam. Há um estilo antigo da filosofia da ciência, em particular, que tende a focar a explanação científica, a predição e a lógica da ciência. E a ciência contemporânea está indo na direção de um casamento com a tecnologia. Este casamento da tecnologia com a ciência cria tipos diferentes de questões, que a filosofia da ciência tradicional não aborda. Houve uma explosão no passado, em torno do que nós, nos Estados Unidos, chamamos de guerras da ciência, em que o cientista e o filósofo simplesmente não se compreendem. Chegar a um entendimento e criar uma filosofia da ciência mais compatível, que aborda as verdadeiras preocupações da ciência, que eu chamo de “tecnociência”, me parece ser a principal questão hoje. Isso perpassa tanto os aspectos técnicos da ciência como suas dimensões maiores sociais que não podemos simplesmente evitar na discussão sobre a construção do saber científico.

Essas questões são parte da construção da tecnologia científica, e o outro aspecto disso, que é uma preocupação muito atual, são as dimensões éticas da construção científica.

**IHU On-Line – Como acontece este diálogo na Universidade de Stanford?**

**Timothy Lenoir** – Creio que, em Stanford, o diálogo acontece de várias maneiras diferentes. Nós temos um Departamento de Filosofia muito importante, um grupo de filosofia da ciência muito forte, um grupo de história e filosofia da ciência. Na Faculdade de Medicina, existe um programa muito forte de ética da biomedicina que já ganhou um grande número de subvenções federais substanciais para realizar uma variedade de projetos. Além disso, finalmente, na Faculdade de Engenharia, é exigido que todos os alunos façam, pelo menos, uma disciplina de Ética da Engenharia. Então, há uma variedade de oportunidades nestes contextos para o diálogo entre cientistas, engenheiros e filósofos. À parte disso, Stanford é uma universidade incrivelmente interdisciplinar. Este é o nome do jogo em lugares como Stanford, que são universidades com alta prioridade na pesquisa, onde a colaboração entre engenheiros e cientistas da computação, por exemplo, ou entre engenheiros, cientistas da informática e biomédicos, é rotineira. Quando olhamos os trabalhos que são feitos, as patentes que são registradas pelo corpo docente de Stanford, que sempre encontra oferta no mercado, vemos que existe muito desta interdisciplinaridade na universidade e eu, pessoalmente, a considero um ambiente muito acolhedor para pessoas como eu com interesses nos aspectos sociais, éticos e técnicos da ciência. Este diálogo acontece regularmente. É um ambiente incentivador de diálogo.

**IHU On-Line – O que deve ser considerado para obter resultados eficientes nas relações entre a universidade e a economia industrial da região onde a universidade se encontra?**

**Timothy Lenoir** – Quando olho a história da relação de Stanford com o Silicon Valley, penso que tem havido várias ondas de inovação no Silicon

Valley. A partir do começo dos anos 1950, houve o desenvolvimento da eletrônica e da eletrônica de estado sólido e transistores, depois veio a onda do desenvolvimento dos semicondutores, seguida pela dos computadores microprocessadores e pela da Internet, que aconteceu no começo dos anos 1990 e continua até hoje. Acima disso tudo, abrangendo o período de meados dos anos 1970 até o presente, há o que se pode chamar de biotecnologia, na qual há um enorme influxo de inovações. Stanford tem participado em todas estas ondas de inovações. Você está perguntando sobre qual o valor adicionado ao ambiente local, adicionado à estrutura econômica da região por um lugar como Stanford. Não é tanto na área de produzir tecnologias individuais ou criar invenções na universidade que podem ser lançadas nas companhias. Um pouco disso acontece, o que é muito importante, mas a universidade é importante para o que eu chamo de tecnologias convergentes em que há tecnologias e desenvolvimentos científicos de diferentes áreas que convergem para este ambiente e criam possibilidades tecnológicas completamente novas e revolucionárias. Por exemplo, podemos olhar para o desenvolvimento da bioinformática, um campo que está transformando muito a prática da Biologia hoje, um campo que se formou em Stanford, mas também em outros lugares, com a colaboração de bioquímicos e cientistas da computação que deslançaram uma companhia que fundamentalmente transformou o campo. Poderíamos olhar para outras áreas de atividades semelhante. A convergência de diferentes tipos de tecnologias acontece em ambientes universitários onde a indústria não teria tanto interesse em pesquisar o que eles considerariam problemas a longo prazo que não rendem para as suas necessidades tecnológicas imediatas. A universidade contribui para isso, mas o mais importante é que Stanford, diferentemente de outras universidades, tem focado sua abordagem na adaptação da universidade ao seu ambiente local. Stanford depende, quase inteiramente, de fundos federais para as suas operações, surpreendentemente, e isso significa que Stanford se adapta ao seu ambiente, aproveitando a ciência e a tecnologia inovadora que se encontram nos âmbitos de

várias companhias e vários outros laboratórios, trazendo as pessoas para a universidade a fim de estabelecer novos programas. Foi isso que aconteceu, por exemplo, no caso do programa de Física do Estado Sólido em Stanford. Física do Estado Sólido não é um campo desenvolvido numa universidade – estava sendo elaborado na Bell Laboratories. Os pró-reitores (decanos) de Stanford da engenharia e ciências viram isso como uma oportunidade para desenvolver o campo e incorporaram algumas das pessoas mais importantes da Bell Laboratories que construíram o programa inteiro da Física de Estado Sólido. Eu poderia continuar com outros tipos de exemplos, mas essencialmente, o que fizeram foi treinar uma geração de doutores que, fundamentalmente, transformaram a área. Então há este relacionamento fantástico, esta co-evolução da Stanford como uma universidade de pesquisa, Stanford como uma universidade altamente produtiva de idéias novas e novas tecnologias, que está profundamente dependente da área local, de Silicon Valley, mas também do ambiente de fundos federais para sustentar estas inovações. É um relacionamento muito dinâmico.

**IHU On-Line – Poderia falar um pouco mais sobre os seus projetos sobre a história da interação entre o homem e o computador e a história da bioinformática?**

**Timothy Lenoir** – Os projetos da história da interação entre o homem e o computador e a história da bioinformática surgiram de uma preocupação sobre o que os historiadores do futuro irão precisar para documentar e pesquisar a história da ciência e tecnologia contemporânea. Para colocar isso em perspectiva, todo o trabalho que eu havia feito anteriormente sobre a história da ciência e tecnologia de antes da Segunda Guerra Mundial, enfocava, basicamente, a ciência da tecnologia alemã e a sua relação com a indústria no século XIX e começo do século XX. E se alguém faz pesquisa nisso, o que encontra é uma linda área para trabalhar, pois toda a documentação está registrada em papel. A ciência contemporânea, desde por volta de 1960, surpreendentemente, armazena seus documentos em ambiente digital. Os projetos que as pessoas têm desenvolvido freqüentemente

foram em colaboração com outros cientistas, compartilhando arquivos, criando bases de dados e programas para visualizar a produção e o que é especialmente importante para a ciência e a engenharia contemporânea é a construção de simulações. Bem, estas coisas são digitais; se olharmos os arquivos da ciência contemporânea, encontrará trabalhos científicos publicados em revistas, mas as outras coisas que os historiadores da ciência e tecnologia usam como documentos de laboratórios, cadernos de laboratórios, etc., encontram-se todos em forma digital. Então, para podermos acessar estas notas, precisamos aprender como preservá-las corretamente, precisamos adquirir ferramentas diferentes para fazer este tipo de pesquisa por causa das tecnologias com as quais lidamos. Todos estes projetos, dos quais estamos falando, são multidisciplinares e disponibilizados para muitas pessoas. Envolvem cientistas e engenheiros de várias disciplinas, que auxiliam na sua colaboração e na sua construção, como a bioinformática, por exemplo, que foi desenvolvida pelo trabalho de bioquímicos que não sabiam muito sobre computação, que tiveram ajuda de cientistas da computação e cientistas da informação para desenvolver aspectos do campo. Esta colaboração desenvolveu recursos internos próprios. Para podermos fazer isso, do que precisamos? Dominar todas as diferentes disciplinas para poder escrever uma história das pesquisas? Poucas pessoas podem fazer isso, assim temos um número cada vez menor de historiadores da ciência e da tecnologia que podem escrever de uma maneira menos superficial. Para podermos fazer isso, temos que desenvolver novos tipos de ferramentas que permitem a nossa cooperação com cientistas e engenheiros para eles documentarem a sua própria história, e eles colaborarem conosco ao escrevermos as suas histórias. Isso não significa que lhes damos autoridade para escreverem a sua própria história. Nós os auxiliamos porque a história da interação entre o homem, o computador e a bioinformática foi elaborada com estes objetivos em mente, para desenvolver ferramentas que iriam criar ambientes colaborativos que permitiriam a cientistas e engenheiros ajudar a elaborar documentos que criariam recursos que nós, historiadores

res e cientistas sociais, usaríamos ao escrever as nossas histórias. Entre algumas destas ferramentas que desenvolvemos para fazer isso acontecer, estão, por exemplo, as linhas de tempo, linhas de tempo colaborativas, que permitem que os próprios cientistas estruturam os tipos de eventos que acham importantes e para estabelecer relacionamentos entre estes eventos, para discutir trabalhos-chave, reuniões-chave, contribuições importantes para a indústria, e assim por diante, num ambiente altamente interativo que está em constante revisão. É um lugar de jogo para o cientista e o engenheiro, para ajudar a assimilar os detalhes básicos do seu campo e outras coisas importantes ao seu ver. Creio que isso tenta resolver algumas das dificuldades que vemos surgir nas guerras de cultura, nas guerras de ciência em que temos cientistas sociais e filósofos de fora, criando histórias sobre o que acontece na ciência. Aqui nós temos a colaboração entre cientistas e filósofos na discussão sobre os esboços do campo. Não significa que seja a história final, mas se não desenvolvermos ferramentas assim, para arquivar, para preservar e outros tipos de ferramentas para acessar e analisar essas histórias, não poderemos fazer pesquisa no futuro.

***IHU On-Line – Por que o senhor acha importante realizar colóquios como este que está acontecendo na Unisinos?***

**Timothy Lenoir** – É difícil dizer quais vão ser os resultados que evoluirão a partir desse colóquio. É uma oportunidade importante para pessoas de di-

ferentes origens. A maioria dos conferencistas filósofos teve sua formação em muitas das mesmas instituições nas quais eu também fiz a minha. Muitas das pessoas tiveram os mesmos professores, as mesmas professoras. Um dos meus professores mais importantes veio da Argentina para os Estados Unidos onde eu trabalhei com ele, o Alberto Coffa. Então há muita colaboração cruzada já acontecendo no desenvolvimento do campo. O que eu vejo acontecendo, não sei como funciona aqui no Brasil, é um movimento nos Estados Unidos e nas comunidades de estudos científicos em geral, de aproximação ao cientista, e não de afastamento dele. O que é importante é tentar descobrir como podemos estabelecer um discurso crítico, como podemos trabalhar com cientistas e engenheiros e manter um discurso crítico que não seja ofensivo e que permita que o diálogo continue. Creio que isso foi um problema no passado e me parece que seria uma das oportunidades de uma conferência como esta. Outro ponto que me parece muito importante para os filósofos no Brasil são os problemas sobre a ética da ciência e tecnologia e o rápido desenvolvimento industrial e tecnológico, aqueles que levam a deslocamentos na terapia médica e em outras áreas e que nós, nos Estados Unidos, não ficamos sabendo certo como são. Os filósofos da ciência e os cientistas brasileiros que trabalham com essas questões, contribuem mais diretamente e enormemente para o tipo de direção que estamos buscando, portanto eu prevejo que isso tenha um resultado valioso.



## Há urgência de pensar uma nova ética global

*Entrevista com Nelson Gonçalves Gomes*

*Nelson Gonçalves Gomes é professor titular da Universidade de Brasília desde 1976, onde coordena o Mestrado em Filosofia. Doutor em Filosofia pela Universidade de Munique (Alemanha), obteve o título de pós-doutor em Filosofia na Universidade de Munique e na London School of Economics (Departamento de Filosofia). Nessas instituições, na Universidade de Oxford, Universidade Hebraica de Jerusalém e no Centro Internacional de Fundamentos das Ciências, em Salzburgo (Áustria) fez estágio sênior. É também bolsista-pesquisador do CNPq desde 1985, membro do Comitê Assessor de Filosofia do CNPq e do Conselho de Ensino e Pesquisa da UnB. Tem publicações nas áreas de lógica, história da filosofia com ênfase no positivismo, ética e filosofia da psicologia. É organizador do livro **Hegel**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1981. O professor Dr. Nelson Gonçalves Gomes vê, com otimismo, a possibilidade de formular uma nova ética que leve em conta os problemas de sobrevivência do ecossistema. “Há muitos problemas que estão no caminho, mas creio que hoje temos que colocar a universalidade da ética na globalização, porque a globalização universalizou os problemas. Não queremos soluções que atinjam simplesmente uma determinada comunidade. Temos uma interdependência entre todas as comunidades existentes no Planeta. Como a ecologia está se transformando numa questão de sobrevivência da Terra, uma ética voltada para problemas ecológicos é uma exigência do nosso tempo”. Durante o **Colóquio Internacional Filosofia e Ciência: Redesenhando horizontes**, o professor Nelson foi o responsável pelo debate Lógica dialógica e comunicação ideal.*

**IHU On-Line – Em que consiste a lógica / dialógica numa comunicação ideal?**

**Nelson Gomes** – A lógica / dialógica consiste, basicamente, num sistema no qual se discute uma tese no contexto de um diálogo entre duas pessoas: o proponente e o oponente. O proponente apresenta uma tese, por exemplo, “amar a natureza é uma coisa boa, positiva”. O proponente e o oponente, seu interlocutor, debatem-na. A discussão não acontece de qualquer maneira. Há regras que devem ser observadas. E, ao final do diálogo, se, por ventura, o oponente é levado a uma espécie de situação sem saída, não pode ou não tem mais objeções a fazer, ele perdeu o diálogo. Ganhou o proponente.

**IHU On-Line – O que essa lógica / dialógica teria a dizer em um mundo marcado por fundamentalismos?**

**Nelson Gomes** – A lógica / dialógica é apenas um instrumento. Ela não é ética. A ética é outro assunto. A lógica / dialógica pode ser um instrumento da reflexão ética. É uma forma de mostrar como as pessoas podem dialogar. A parte da Filosofia que reflete sobre todas as questões do mundo contemporâneo, cada vez mais difícil, é a ética. Não é propriamente a lógica / dialógica. Evidentemente, o fundamentalismo é a negação do diálogo, ele consiste simplesmente em afirmar-se uma posição.

**IHU On-Line – Como o senhor vê a possibilidade de uma ética universal que privilegie a relação do ser humano com o ecossistema?**

**Nelson Gomes** – Eu vejo isso com otimismo. Há possibilidades reais de pensarmos nisso. Há mui-

tos problemas que estão no caminho, mas creio que hoje temos que colocar a universalidade da ética na globalização, porque a globalização universalizou os problemas. Hoje não queremos soluções que atinjam simplesmente uma determinada comunidade. Temos uma interdependência entre todas as comunidades existentes no Planeta. Pensar em termos de uma ética universal é muito natural. Como a ecologia está se transformando numa questão de sobrevivência da Terra, uma ética voltada para problemas ecológicos é uma exigência do nosso tempo.

### ***IHU On-Line* – Qual pode ser a contribuição das religiões para uma ética global?**

**Nelson Gomes** – Realmente não tenho uma boa resposta para dar, ou pelo menos uma resposta que seja fruto do raciocínio e da reflexão, mas posso dar uma resposta parcial. Entre os gregos antigos, havia a crença de que o mundo era habitado por deuses. Cada objeto, por exemplo uma árvore, teria um Deus dentro de si. O mar teria deuses dentro de si. Isso é algo que pode levar as pessoas a terem uma relação de maior respeito para com a natureza. As diversas religiões hoje estão levando as pessoas, pelo menos em alguns casos, à guerra, à violência. Em todo o Planeta, há várias guerras que têm como base a religião. É só pensar nos problemas gravíssimos que o Ocidente tem com os muçulmanos. Nesses confrontos, o elemento religioso é importante. Ou se pensarmos na Irlanda do Norte, problemas entre católicos e protestantes, o elemento religioso é importante. Eu não saberia definir as religiões com precisão, porque elas podem ser muito úteis para aproximar os homens em muitos casos, mas também podem levá-los à destruição. Infelizmente, temos exemplos históricos das duas coisas. Mas, com certeza, as religiões são fontes de relações éticas e morais.

### ***IHU On-Line* – Como a frase evangélica “tudo o que vocês desejam que os outros façam a vocês, façam vocês mesmos também**

### **a eles” (Mateus 7, 12)<sup>84</sup> poderia ser base para uma ética universal?**

**Nelson Gomes** – Essa frase é mais bem formulada negativamente. É melhor colocar assim “não fazer ao outro aquilo que eu não quero que seja feito a mim”. Por exemplo, uma pessoa masoquista pode querer que façam coisas ruins para ela, e isso não é bom, porque não é por isso que ela poderá fazer coisas ruins para os outros. A formulação negativa é melhor. Essa regra “não fazer ao outro aquilo que eu não quero que seja feito a mim” chama-se, em ética, “regra de ouro”. E essa regra está presente no ensinamento de inúmeras religiões e de inúmeros sistemas éticos. É uma regra, sem dúvida nenhuma, central no pensamento ético. Muitas teses éticas podem ser derivadas daí.

### ***IHU On-Line* – Quais os principais desafios que o senhor vê no diálogo entre ciência e Filosofia?**

**Nelson Gomes** – O principal desafio no diálogo entre ciência e Filosofia consiste, em primeiro lugar, em se definir o que a Filosofia pode fazer, para que se entenda melhor a ciência. Em segundo lugar, em que a ciência pode enriquecer a Filosofia. Essas questões são, até hoje, mal resolvidas. O naturalismo, uma corrente filosófica, diz, em última análise, que a Filosofia pode fazer muito pouco, ou talvez nada, para que a ciência tenha um entendimento melhor de si mesma. Na verdade, o filósofo, segundo os naturalistas, seria incapaz de trazer contribuições importantes para o entendimento da ciência. Em outras palavras, a ciência poderia ser entendida estudando-se a própria ciência. A ciência é que estaria em condições de levar ao entendimento dos seus próprios procedimentos. Este é o desafio contemporâneo: encontrar uma boa resposta para essa questão. Presentemente, os naturalistas têm um grande prestígio filosófico. Há estudos muito importantes e crescentes sobre o naturalismo. E se o naturalismo tem razão, a Filosofia não ajuda no entendimento da ciência. Essa é uma questão a ser esclarecida.

<sup>84</sup> A tradução é da Bíblia Sagrada. Edição Pastoral. Edições Paulinas. (Nota da ***IHU On-Line***)

***IHU On-Line – O senhor acha que haveria também uma necessidade de maior diálogo entre ciência, Filosofia e os problemas da sociedade contemporânea?***

**Nelson Gomes** – Sim. Mas acho que temos de manter as coisas separadas. Uma coisa é a relação entre ciência e Filosofia, outra coisa é a relação dos problemas da sociedade com os problemas da Filosofia e com os problemas da ciência. São coisas que não devem ser colocadas no mesmo conjunto de preocupações.

***IHU On-Line – Mas não estaria faltando às instituições científicas, às universidades, uma abertura maior aos problemas da sociedade?***

**Nelson Gomes** – Esta é uma outra questão: saber, por exemplo, como a universidade deve formar o seu pessoal, alunos, professores, no sentido de pensar em profundidade as questões da sociedade. É importante que as questões não sejam mescladas, porque saber se a Filosofia tem algo a dizer sobre a ciência é uma coisa. Saber que problemas sociais o filósofo pode ajudar a resolver, é outra. São blocos diferentes de problemas: Filosofia, ciência, sociedade. Não há a menor dúvida de que a preocupação em torno da sociedade é cru-

cial. No final das contas, a ciência deve aperfeiçoar o homem. Essa já é uma frase de Spinoza. E eu diria que a Filosofia também. Essa é uma preocupação fundamental.

***IHU On-Line – Que momento está vivendo a Filosofia?***

**Nelson Gomes** – De um modo geral, eu não diria que a Filosofia esteja vivendo um momento particularmente brilhante. Não estamos na situação em que estávamos, por exemplo, em 1950, 1960, ou até nas décadas anteriores, quando, então, a Filosofia era discutida pelo trabalho de grandes cabeças, como Heidegger ou Bertrand Russel, Husserl, Sartre, etc. No momento, esses grandes nomes não estão aí. Há filósofos famosos, sem dúvida nenhuma, pensadores, como Locke, mas não há aqueles grandes trabalhos. Com respeito ao Brasil, temos hoje 27 programas de Pós-Graduação, entre mestrados e doutorados, e houve um crescimento quantitativo da Filosofia e da produção filosófica. Quanto a isso não há dúvida. Ainda falta o crescimento qualitativo. Havendo o crescimento quantitativo, evidentemente aumenta a probabilidade de um crescimento qualitativo, mas esse ainda não aconteceu

## **O ensino de ciências está longe da formação de cidadãos conscientes**

*Entrevista com Susana Lehrer de Souza Barros*

*Susana Lehrer de Souza Barros é professora no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduada em Física pela Universidade de Buenos Aires (UBA), a professora é mestre em Física pela Manchester University (Inglaterra).*

**IHU On-Line – Qual é o cenário brasileiro do ensino das ciências naturais em geral e da Física em especial? Em que medida os conceitos ensinados propiciam uma reflexão sobre as suas relações com a sociedade?**

**Susana de Souza Barros** – Um cenário confuso, com muita atividade de pesquisa em educação em ciência e pouca transferência desse conhecimento para a escola, que se encontra num estado de abandono notório. O interesse dos governos tem sido aumentar a matrícula escolar, como disse há pouco o Presidente Lula: “A escola agora precisa ensinar...” Concordo. O ensino de ciências, por outro lado, precisa de muito apoio e infra-estrutura, que não são conseguidos de um dia para outro. Não depende apenas da vontade política dos governantes. Precisamos de professores com bom conteúdo científico e de pedagogia e que tenham compreensão da natureza da ciência e de seus métodos. Para isso é necessário que a formação inicial seja boa, o que não é verdade para a maioria do nosso professorado. Neste momento, o governo, ciente da situação, oferece possibilidades de educação continuada para muitos professores, por meio das suas Secretarias de Educação, do Ministério de Educação e Cultura (MEC), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), etc. Essas ações pulverizadas NÃO substituem a formação

inicial, são colchas de retalhos, que não cobrem ninguém...

**IHU On-Line – Quanto ao cenário internacional, onde se posiciona o Brasil, no que se refere ao ensino mencionado? É possível e/ou útil fazer tais comparações?**

**Susana de Souza Barros** – A situação internacional é também preocupante. Existem países com maior grau de interesse pela educação e que dão prioridade à formação em ciências para provocar o desenvolvimento tecnológico (Coréia, Japão, Taiwan, alguns países europeus). A idéia de ensinar ciências para formar o cidadão consciente, que possa “salvar” este planeta, está ainda muito longe de ser atingida, mas hoje estamos com uma nova visão, e isso é importante.

**IHU On-Line – Em que medida a chamada “nova Física” é conhecida pelos estudantes brasileiros? No nosso ensino, predomina a física convencional?**

**Susana de Souza Barros** – A nova Física não poderá ser oferecida para os nossos alunos no contexto atual de ensino. Precisamos de um ensino básico de ciências que contemple um bom ensino de Matemática, de Português e de Ciências Observacionais. Os alunos que não possuem esses pré-requisitos dificilmente poderão aproveitar o ensino de Física atual. No limite, poderão ser informados.

**IHU On-Line – Quais as medidas necessárias para que o ensino de Física permita a efetiva compreensão da ciência, “do universo, da natureza e suas inter-relações”?**

**Susana de Souza Barros** – 1. Formar o bom professor de ciências. 2. Uma escola que atenda

suas obrigações com seriedade e crie condições de trabalho escolar (infra-estrutura, coordenação, biblioteca, novas tecnologias e laboratórios para todos). 3. Salários condignos para os professores. 4. Avaliação e coordenadorias escolares.

***IHU On-Line – Nos últimos anos, tanto nas ciências físicas como nas biológicas, os especialistas vêm se inspirando no computador como ferramenta e metáfora. Como abordar temas afins se o universo computacional está, muitas vezes, distante da sala de aula? Como aproximar os estudantes dessa nova abordagem do estudo do universo e dos corpos que o habitam?***

**Susana de Souza Barros** – Não será por meio das novas tecnologias que o nosso ensino será melhorado. Pode ser um fator que contribua, mas não resolverá o problema da educação. O interesse de levar o computador para TODOS, é objetivo-mor de todos os governos, acreditando ser fa-

tor principal de melhoria. Estudos feitos nos Estados Unidos mostraram que 50 anos de computador na sala de sala não fizeram muita diferença.

***IHU On-Line – A senhora gostaria de acrescentar outros comentários ao tema em questão?***

**Susana de Souza Barros** – Corro o risco de repetir-me. Precisamos bons professores, boas escolas e governos que dêem prioridade à educação sem demagogia, criando sistemas que desenvolvam um bom ensino, de acordo com as necessidades do educando, com continuidade e não troquem programas e currículos do dia para a noite, avaliando continuamente e modificando com conhecimento de causa. Um aspecto ainda muito esquecido: a INCLUSÃO de todos na escola, portadores de deficiências, crianças pequenas e aqueles que não tiveram ocasião de ser educados na idade certa. Temos que compreender que o ensino de ciências, especificamente, não pode ser bom sem uma educação geral que corresponda.

## Copenhagen: montagem paulista sobre a questão nuclear

Elogiada por críticos como Alberto Guzik e Bárbara Heliodora, a peça teatral *Copenhagen*, montagem paulista do Núcleo Arte Ciência no Palco, da Cooperativa Paulista de Teatro, foi apresentada no Anfiteatro Padre Werner, dia 17 de maio de 2005, integrando a programação do **Sempre às Terças** e do **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**. Com texto de Michael Frayn, direção de Marco Antonio Rodrigues e tradução de Aimar Labaki, com Carlos Palma (Werner Heisenberg), Oswaldo Mendes (Niels Bohr) e Selma Luchesi (Margarethe Bohr) no elenco, *Copenhagen* participou da programação do **9.º Porto Alegre em Cena** e foi contemplado com o Prêmio Estímulo Flávio Rangel 2001 (Governo do Estado de São Paulo) e Prêmios Qualidade Brasil 2001: melhor direção e melhor espetáculo.

A peça é recomendada para pessoas a partir de 16 anos e tem duração de 150 minutos, em dois atos.

### **A peça**

*Copenhagen* é uma trama de suspense, amizade, mistério e espionagem, tendo a questão nuclear, a ética e a responsabilidade dos cientistas como temas centrais. Fala de um explosivo e misterioso encontro que mudou o rumo da história. Em 1941, em plena Segunda Guerra Mundial, os pais da Física Quântica, Niels Bohr, judeu dinamarquês, e Werner Heisenberg, alemão encarregado do programa nuclear de Hitler, têm uma breve e secreta conversa sobre a construção da bomba atômica, em Copenhague, então sob ocupação nazista. As diferentes versões desse encontro entre os dois renomados cientistas são revistas com os personagens já mortos, agora com a presença de Margarethe Bohr, mulher de Niels. O espetáculo revela as implicações das decisões humanas e um profundo pensar sobre o mundo e nossas vidas, usando a ciência como metáfora para fortes emoções.

## Mirada ao passado para fazer uma Terra habitável

Por Attico Chassot



Niels Bohr, Margarethe Bohr e Werner Heisenberg

O Prof. Dr. Attico Chassot, do PPG em Educação da Unisinos, comenta o espetáculo *Copenhagen* no artigo que segue, elaborado especialmente para a **IHU On-Line**. Attico Chassot é mestre em Educação pela UFRGS, doutor em Educação pela mesma universidade, com tese intitulada *Para que(m) é útil o ensino de Química?* E pós-doutor pela Universidade Complutense de Madri. Ele é autor de diversos livros, entre os quais citamos: ***Para que(m) é útil o ensino de Química?***. Canoas: ULBRA, 1995; ***Alfabetização científica: questões e desafios para a educação***. Ijuí: Editora Unijuí, 2001. ***Educação conSciência***. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2003; ***A Ciência é masculina? É, sim senhora!*** São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. (Coleção Aldus, 16).

Li, com entusiasmo, no **IHU On-Line** número 139, que, durante o **Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade**, teríamos o privilégio de ver, na Unisinos, o espetáculo *Copenhagen*. Em 25 de setembro de 2002, quando assisti a esta peça, apresentada pelo grupo Amaná-Key, registrei em meu diário

que vira, ao mesmo tempo, uma das melhores aulas de História e Filosofia da Ciência e de Didática. Recordo que, então, com alguns colegas, sonhamos em trazê-la à Unisinos, mas nos demos conta (fazendo contas) que era inviável. Assim são sobradas as razões para vibrar com a oportunidade que teremos no dia 20 de maio, às 18 horas, no Anfiteatro Pe. Werner. Este texto é também a manifestação pública de minha gratidão aos fazeres do Instituto Humanitas Unisinos (IHU).

### Copenhagen

Saber que *Copenhagen* – uma peça premiada em vários países – estará entre nós, encenada pela Companhia Paulista de Teatro, que já é detentora de vários prêmios pela produção e apresentação desta peça, nos obriga a uma preparação para o melhor desfrute da oportunidade. A estréia de *Copenhagen* foi em Londres, em 1998. Seu autor é o dramaturgo (também repórter e tradutor) Michael Frayn<sup>84</sup> (Londres, 1933), detentor de muitos prêmios recebidos por uma longa lista de produções, especialmente para teatro.

Sem tirar nada do suspense e até da trama envolvente do texto *Copenhagen*, vale olharmos um pouco o cenário para onde somos transportados pela magia do teatro. Viveremos, então, em 1941, em meio aos momentos mais dramáticos da guerra que iniciara em 1939 e ainda se estenderia até 1945. Estamos em Copenhague, capital da Dinamarca, ocupada pelos nazistas, situação igual à

<sup>84</sup> Michael Frayn: dramaturgo, colunista, repórter e tradutor inglês, nascido em 1933, em Londres. Para saber mais, consulte o sítio <http://www.imagi-nation.com/moonstruck/clsc74.html> (Nota da **IHU On-Line**)

parte significativa de uma Europa dilacerada. As atrocidades que hoje vemos no Iraque, para referir um dos conflitos dolorosos de nossos dias, eram barbarizadas, naquela época, com batalhas de nações contra nações.

## Niels Bohr e Werner Heisenberg

Em *Copenhagen*, vamos nos encontrar com apenas três personagens, que tiveram histórias excepcionais: o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) e o alemão Werner Heisenberg<sup>85</sup> (1901-1976), dois dos maiores físicos do século XX. O primeiro recebeu prêmio Nobel de Física em 1922, “por seu trabalho na investigação da estrutura do átomo e das radiações emanadas a partir dele”<sup>86</sup> e o segundo, o prêmio Nobel de Física em 1932 “pela criação da Mecânica Quântica, e sua aplicação que, entre outras descobertas, levaram à identificação de formas alotrópicas do hidrogênio”<sup>87</sup> Mas há uma terceira personagem: está em cena, com muito destaque, Margarethe Bohr (1890-1984)<sup>88</sup>, esposa de Niels, numa trama de idas e vindas que passa em revista as diferentes hipóteses (inclusive a do próprio Michael Frayn), sem a pretensão de determinar a suposta versão “verdadeira” do encontro histórico dos dois eminentes físicos.

Bohr e Heisenberg foram, em outros tempos, antigos colaboradores. O físico alemão trabalhava em Copenhague, sob orientação de Bohr, nos anos 1920, mas agora, separados pelas circunstâncias, estão em lados opostos do conflito, porém com um envolvimento comum: a bomba atômica, que daria, ao lado que a detivesse, a cartada ma-

cabra para vencer a guerra. Heisenberg estava encarregado de desenvolver a bomba atômica alemã; Bohr contribuiu para a confecção da bomba estadunidense, que destruiria, em 1945, as cidades japonesas de Hiroxima e Nagasáqui e determinaria a rendição do Japão e término da Segunda Guerra Mundial.

Quais as razões pelas quais Heisenberg procura seu antigo professor para um jantar que acompanhamos intrigado durante as 2h30min de espetáculo? Essa pergunta sem resposta é o pivô da peça e é sobre ela que surgem as especulações que envolvem a história da ciência e a filosofia da ciência, permeadas por profundas discussões éticas. Esta é a dimensão que ainda hoje traz atualidade às discussões e, com razão, se faz presente em um simpósio que se propõe discutir propostas para que tenhamos uma Terra habitável.

Algumas hipóteses podem ser levantadas sobre o encontro: Heisenberg pretendia extrair de Bohr segredos do programa nuclear dos aliados? Teria ido alertá-lo para o projeto de Hitler de fabricar a bomba? Teria ido se aconselhar com ele? Ou foi a Copenhague para sondar o grau de desenvolvimento do projeto nuclear dos aliados (que só começou em 1942)? Será que foi tentar roubar segredos de seu antigo orientador para adiantar a construção da bomba para Hitler? Ou será que foi propor um pacto de paz, segundo o qual os cientistas nazistas e aliados se recusariam a construir armas de genocídio?

Michael Frayn traz para o jantar discussões acerca das contribuições dos dois físicos, que são aquelas pelas quais um e outro foram laureados com o Nobel de Física. Bohr com base na propos-

<sup>85</sup> Werner Karl Heisenberg (1901-1976): físico alemão, vencedor de Prêmio Nobel e um dos fundadores da mecânica do *quantum*. Heisenberg foi o líder do programa da energia nuclear da Alemanha nazista. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>86</sup> Fonte: <http://nobelprize.org/physics/laureates/> (Nota do autor)

<sup>87</sup> Fonte: Idem nota anterior. (Nota do autor)

<sup>88</sup> Margarethe Norlund, filha de um farmacêutico, nasceu em uma pequena cidade distante menos de 100km de Copenhague. Casou com Niels em 1912. Enquanto ele trabalhava na Inglaterra, houve trocas de lindas cartas entre ambos, nas quais ele dava detalhes de seus trabalhos que desenvolvia em Cambridge com Rutherford. O casal teve seis filhos, o quarto, Aage Bohr, nasceu no ano em que seu pai foi laureado com o Nobel de Física, recebeu o mesmo prêmio que o pai em 1975. Margarethe foi, durante muitos anos, assistente de Niels, não apenas datilografando seus textos, mas, segundo reconhecimento dele e dos filhos, inspiradora de muitas de suas idéias científicas. Niels, mesmo batizado cristão, quando da ocupação nazista na Dinamarca, teve sérios problemas, pois era filho de mãe judia. Em 1943, com recrudescimento das perseguições da Gestapo, a família Bohr fugiu para a Suécia. (Nota do autor)



ta de um átomo nuclear de seu professor Ernst Rutherford<sup>89</sup> (1871-1937), prêmio Nobel de Química 1908, define que os elétrons só poderiam girar em torno do núcleo em órbitas predeterminadas, e só emitiriam ou absorveriam quantidades discretas de energia (*quanta*). A contribuição de Heisenberg pode ser considerada uma complementação com formulação do princípio da incerteza, segundo o qual seria impossível medir com exatidão a posição e a velocidade de um elétron simultaneamente. É indiscutível que os dois mudaram a Ciência do Século XX. Aqui vale um alerta: essas concepções são trazidas com tal abundância de metáforas que um leigo em Física participa da ágape com um saborear especial, catalisado pelas intervenções quase arditas de Margarethe. Ela medeia as réplicas e as trélicas dos dois físicos, tornando os diálogos fascinantes.

### A ciência como Golem

É um olhar à ciência como esse desencadeado por *Copenhagen* que ressurgiu a constante discussão acerca de ser a ciência boa ou má. Primei-

ro vale repetir que ciência não é um ente. São os homens e as mulheres que fazem ciência, que têm ações que são boas ou são más. Permitam-me uma simplificação: uma faca sobre o mesmo corpo pode matar ou salvar a vida. Depende de quem a usa.

Há um tempo, eu dicotomizava a ciência como sendo ora uma fada benfazeja, ora uma bruxa. Depois de fazer uma leitura, em que reabilito bruxas, que está em meu livro **Educação conSciência**<sup>90</sup>, passei a dizer que a ciência pode ser ora uma fada benfazeja, ora um ogro maligno; agora, para fugir a esta polarização, trago uma outra metáfora para a ciência, dizendo que ela me parece mais o Golem (Goilem), aquele ente da mitologia judaica que se parece com um gigante de barro que desconhece sua verdadeira força e se assemelha muito a um bobão, mas que tem ações, às vezes, de sábio e outras de sabido<sup>91</sup>.

Oxalá as discussões que devem catalisar *Copenhagen* sirvam para que ajudemos o Golem a ser menos tolo e colaborar, para que, ao fazermos ciência, o façamos para transformar o mundo para melhor. Só assim teremos uma Terra habitável.

<sup>89</sup> Ernst Rutherford (1871-1937): físico britânico, ganhador do prêmio Nobel por seus trabalhos inovadores na Física nuclear e por sua teoria da estrutura do átomo. Rutherford foi um dos mais importantes pesquisadores da Física nuclear. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>90</sup> CHASSOT, Attico. **Educação conSciência**. Santa Cruz do Sul: EdUNISC. 2003. (Nota do autor)

<sup>91</sup> Adaptado de COLLINS, Harry; PINCH, Trevor. *O golem: o que você deveria saber sobre ciência*. São Paulo: Editora da UNESP, 2003. (Nota do autor)

## Copenhaga: um desafio à inteligência e à sensibilidade

Em uma trama de suspense, amizade, mistério e espionagem, o espetáculo teatral *Copenhaga* teve como temas centrais a questão nuclear, a ética e a responsabilidade dos cientistas, remetendo-se a um misterioso encontro em 1941 entre os pais da Física Quântica, Niels Bohr, judeu dinamarquês, e Werner Heisenberg, alemão encarregado do programa nuclear de Hitler.

A montagem é do Núcleo Arte Ciência no Palco, da Cooperativa Paulista de Teatro, com texto de Michael Frayn, tradução de Aimar Labaki. No elenco, Carlos Palma (Werner Heisenberg), Oswaldo Mendes (Niels Bohr) e Selma Luchesi (Margarethe Bohr).

Para Marcel Bursztyn, diretor do Centro de Desenvolvimento Sustentável da UnB e ministrante do curso *Desenvolvimento Sustentável. Fundamentação teórico-prática no Simpósio Internacional Terra Habitável: um desafio para a humanidade*, a apresentação da peça encaixa perfeitamente no tema por ele abordado. “Algo fundamental quando se pensa em desenvolvimento sustentável e meio ambiente é o controle ético da ciência. Eu me refiro a um autor, matemático judeu, polonês, que fugiu da guerra, foi para a Inglaterra e participou do projeto da construção da bomba, Jacob Bronowski<sup>92</sup>, como um dos artífices das equações que a viabilizaram. Quando ele foi convidado a visitar Nagasáqui, logo após o bombardeio, depois do que ele viu, questionou-se sobre a missão do cientista: Até que ponto, ultrapassamos os limites da própria ciência? Quais são os limites que ela deve ter? Felicito o evento por ter acolhido essa peça”.

Entre a platéia que acompanhou as duas horas e meia de apresentação, encontrava-se Simone Mundstock Jahnke, bióloga, professora substituta na UFRGS. Impactada com o caráter humano da peça, a professora salientou a capacidade de fazer refletir sobre a origem e o caráter dos conflitos do mundo. “Muitos de nós já ouvimos falar da história da discussão em Copenhague, mas a peça trouxe um novo olhar, nos fez vê-la mais de perto. Gostei da participação da esposa de Bohr. Ela fica como espectadora e vê os dois lados. Demonstra a sua revolta em relação aos outros personagens e começa a entrar na trama com uma postura própria. Achei importante como a peça nos mostra a percepção de que os conflitos do mundo todo, são gerados no próprio ser. Os conflitos internos se refletem também no mundo político, na Física, no mundo exterior”.

Para Jony Johann, jornalista e aluno de Mestrado em Ciências Sociais na Unisinos, *Copenhaga* foi a melhor peça de teatro que ele já viu. “Densa. Carregada de ciência e de emoção ao mesmo tempo. Ela faz refletir, na figura do Heisenberg, sobre o pensamento da clássica Filosofia alemã diante daquele horror do holocausto. Foi muito bom, estou realmente emocionado”.

Gabriela Mühlbach, estudante de Comunicação Digital na Unisinos e ex-estudante de teatro, assistiu à peça pela terceira vez. “Acho incrível como eles conseguem emocionar com a Física. Um texto superdifícil. O tempo todo falam de Física e conseguem relacionar isso à vida, às questões éticas, à Filosofia”.

---

<sup>92</sup> Jacob Bronowski (1908-1974): filósofo e matemático inglês. (Nota da *IHU On-Line*)

## Protagonistas de *Copenhagen* falam sobre a peça

Duas horas antes de a peça entrar em cena, **IHU On-Line** conversou com os três atores que protagonizam *Copenhagen*: Carlos Palma (Werner Heisenberg), Oswaldo Mendes (Niels Bohr) e Selma Luchesi (Margarethe Bohr). Enquanto Oswaldo ia arrumando detalhes da cenografia, Selma sentava no piso do palco, do lado de Oswaldo, para iniciar a conversa, e Carlos testava as roupas que usaria como o personagem Werner Heisenberg. “Nós somos um casal dinamarquês, e Carlos é um físico alemão, Werner Heisenberg, que vem nos visitar”, explica Oswaldo, resumindo a trama. O trio vem apresentando *Copenhagen*, que já ganhou diversos prêmios, desde 2001. “Acho a peça interessante. O texto é muito bom, um dos melhores textos de teatro dos últimos 30 ou 40 anos. Está entre os grandes textos da dramaturgia mundial”, comenta Oswaldo. Perguntado sobre as razões do sucesso, responde como o fez o autor Michael Frayn. Quando escreveu *Copenhagen*, Frayn fez um texto muito complexo de três horas de duração, falando de Física Quântica, ficção nuclear, princípios da incerteza. Ele achou que seria uma peça com uma carreira curta e se surpreendeu com o sucesso no mundo todo. Quando perguntaram a Michael Frayn sobre o sucesso da obra ele respondeu o seguinte: “O público gosta de ser desafiado na sua inteligência, sensibilidade e emoção, o que este espetáculo consegue fazer”. A peça exige do público uma presença ativa intelectual e afetivamente. A pessoa sai muito excitada por causa de todos os temas levantados na peça. Para Selma, o público pode vê-la pelo olhar de cada um dos personagens, as pessoas escolhem a personagem por cujo olhar vai acompanhar a peça. Ela chama a atenção para a participação da mulher de Bohr, Margarethe, papel que ela representa. “O autor coloca

Margarethe Bohr com um olhar crítico, fora da discussão desses dois homens. Eles foram lá para se encontrar e, nesse encontro, houve a ruptura de uma amizade de anos. É um fato histórico. O teor da conversa é um mistério, porque, a partir daí, eles nunca mais se falaram. Margarethe questiona o que esses dois ícones da Física estavam conversando no momento. É um olhar imaginário que tenta encontrar algumas pistas sobre o que eles podem ter conversado de tão grave”, disse Selma.

Carlos também destaca, em *Copenhagen*, a qualidade do texto. “Teatro é essa composição de literatura, cenografia, iluminação. A receita desse espetáculo funcionou, mas o texto é a base de toda peça teatral, e este texto é muito provocante. Provoca perturbações nas pessoas de diferentes ordens, não só emocional, mas de uma reflexão profunda sobre nossas escolhas. A peça está falando de escolhas. Somos responsáveis por nossas escolhas e carregamos as causas e as consequências delas”. O intérprete de Heisenberg afirma que a peça fala de duas teorias científicas fundamentais para a quântica: a complementaridade e a incerteza. “Não importa se não sabemos tecnicamente sobre isso como platéia, e sim se entendemos o conceito na peça, que está entrelaçado com a vida dos personagens: Heisenberg e Bohr. Então começamos a pensar sobre nossas incertezas. A vida é feita de incertezas. Não podemos achar que tudo é causa e efeito, o acaso também faz parte da vida”. Para o ator, o princípio da incerteza de Heisenberg e a complementaridade de Bohr fazem parte da nossa vida.

O elenco de *Copenhagen* considera que a peça diz muito no contexto do **Simpósio Internacional Terra habitável**. “*Copenhagen* discute o papel da ciência e do conhecimento e da nos-

sa responsabilidade diante desse planeta com esse conhecimento. A própria Margarethe faz este questionamento: “O que vai sobrar, se todo conhecimento levar à bomba, à destruição? O que vai ser da Terra, nosso adorado planeta, nossa casa, que está destruída, mas é nossa casa? A peça discute a responsabilidade e a ética, aborda a ciência, que não é neutra, afeta as pessoas e o nosso *habitat* para o bem ou para o mal. Por isso, a importância da peça neste evento, unindo-se ao questionamento sobre a responsabilidade de todos os cientistas e de todo ser humano”, salienta o ator.

### Um dos grandes textos do século XX

Os atores afirmam que *Copenhagen* é um dos grandes textos do século XX e, como todos os clássicos é atemporal, mergulha nas profundezas da alma humana. “O tempo não atrapalha, ao contrário, como diz Brecht, às vezes, temos que olhar os fatos de longe. O teatro épico de Brecht, do distanciamento, teatro mais político, de consciência, parte da necessidade de se afastar do fato, porque se estiver dentro dele, não o vemos”, explica Oswaldo. Selma lembra que críticos muito conceituados consideram o texto de *Copenhagen* como um grande clássico da dramaturgia, “Esses textos acabam não tendo tempo e espaço, eles refletem a questão do humano, e o teatro tem essa característica: o central é o ser humano”.

### Projeto Arte Ciência no Palco

Carlos Palma foi o criador do Núcleo Arte Ciência no Palco. Ele explica que o projeto surgiu com a peça *Einstein*, um texto canadense, ao qual ele assistiu no Chile. “Apaixonei-me pelo texto, fui atrás, comprei os direitos e montei *Einstein*. Então conheci, de fato, Einstein e toda a sua preocupação pela ética da ciência. Ao ser encenada, notei que a peça atraía pessoas de diversas áreas. O principal ponto de atração era a responsabilidade científica. Um ano depois, eu tinha ganhado um prêmio pela

personagem, mas não podia parar ali. Então tive a ideia de fazer o projeto Arte Ciência no Palco e trabalhar de maneira sistemática temas da ciência, de todas as áreas, mas principalmente as naturais”, explica. Segundo o ator, as naturais eram uma temática que o teatro não abordava por achar dificuldades em levar ao palco a Química, a Física ou a Biologia. “Achei que podia ser importante para a sociedade, para o teatro e para nós, atores, como maneira de trabalho e de sobrevivência. Imediatamente montamos uma peça infantil, depois *Copenhagen* e hoje temos oito espetáculos circulando. Vamos a Portugal, onde ficaremos 26 dias, para inaugurar um teatro científico, no qual faremos quatro espetáculos. Um país que não tem conhecimento científico é um país dependente. Temos que despertar os jovens para a ciência e temos que despertar o público leigo, como eu e os outros atores, para a importância da ciência e todas as implicações dela com o mundo, as regras que devem norteá-la e de que maneira intervir nessas regras”, argumenta Carlos. Segundo ele, entender os fenômenos da natureza leva a uma maior compreensão da própria vida. “Na hora que sinto que nada sou diante do universo, apenas o resultado de uma série de modificações físicas da natureza do universo, eu vou compreender melhor meu colega e a natureza desse planeta e respeitá-la. Assim vou viver mais feliz”, disse o ator.

Atualmente, o núcleo Arte Ciência no Palco está integrado por 14 pessoas, entre técnicos e atores. O grupo não tem um diretor, optou por diversos diretores, de linguagens diferentes para cada encenação. “O que faz as pessoas se unirem é o projeto Arte Ciência, não é a figura de um diretor. Agimos assim para ter uma linguagem mais diversificada”, diz o criador do projeto.

A experiência pessoal dos atores, interpretando peças científicas, está sendo muito enriquecedora para suas vidas profissional e pessoal. “Para mim, que nunca mergulhei na área das ciências exatas, este texto tão complexo está sendo uma reelaboração da minha vida no sentido de repensar nossa responsabilidade para com esse planeta hoje tão sofrido e baqueado”, explica Selma.

## Copérnico e Kepler. Como a Terra saiu do centro do universo

*Entrevista com Geraldo Monteiro Sigaud*

*Geraldo Monteiro Sigaud é professor do Departamento de Física da PUC-Rio. Graduado, mestre e doutor em Física pela PUC-Rio, é também pós-doutor pelo Institut Für Kerphysik J W Goethe Universität de Frankfurt (Alemanha).*

**IHU On-Line – Sua palestra, intitulada Copérnico e Kepler: Como a Terra saiu do centro do universo, abriu o Ciclo de Estudos Desafios da Física para o século XXI: uma aventura de Copérnico a Einstein, em 3 de agosto de 2005. Sobre o que, exatamente, o senhor tratou neste encontro?**

**Geraldo Sigaud** – Meu objetivo principal foi mostrar como o trabalho desses dois astrônomos contribuiu para a ciência, tal com a conhecemos hoje, particularmente no que diz respeito à busca de modelos consistentes, reprodutíveis, e principalmente gerais, para descrever fenômenos observados em um contexto comum.

**IHU On-Line – Quais foram as grandes descobertas e proposições feitas pelo matemático e astrônomo Nicolau Copérnico e pelo astrônomo Johannes Kepler? Em que medida elas fizeram “a Terra sair do centro do Universo”?**

**Geraldo Sigaud** – Copérnico, ao buscar uma descrição mais simples do que a existente na época, baseada essencialmente no trabalho do astrônomo grego Ptolomeu, para o movimento dos corpos celestes, retomou e aperfeiçoou a idéia heliocêntrica que já havia sido proposta por Aristarco de Samos dezessete séculos antes. Entretanto, Copérnico não percebeu o verdadeiro significado

de seu modelo, por permanecer ligado às idéias aristotélicas que ainda prevaleciam durante a Renascença. Foi Kepler, sessenta anos depois, que percebeu a real dimensão do modelo de Copérnico quando abandonou o dogma do movimento circular uniforme ao enunciar que as órbitas dos planetas eram elipses, e não círculos. Isso ocorreu porque Kepler era dotado de um senso de extrema precisão e não se conformava com as diferenças mínimas entre os resultados teóricos do modelo de Copérnico e as observações astronômicas disponíveis. Foram suas três leis que, de fato, “tiraram a Terra do centro do universo”, e foi baseado nelas que Newton chegou à Lei da Gravitação universal.

**IHU On-Line – Em linhas gerais, em que consistia a Teoria Heliocêntrica proposta por Copérnico e por que ela incomodou tanto o poder instituído? Quais foram os avanços feitos por Kepler em relação a Copérnico?**

**Geraldo Sigaud** – Durante algum tempo, o modelo heliocêntrico de Copérnico teve muito pouca repercussão. No entanto, à medida que foi se tornando mais conhecido, o modelo começou a despertar a ira principalmente dos religiosos protestantes – luteranos e calvinistas – sem maiores manifestações contrárias ao seu trabalho, vindas da Igreja Católica. Estas só vieram mais de setenta anos depois, principalmente porque Galileu apoiou e defendeu o modelo heliocêntrico. As razões para isso vêm da interpretação da bíblia com relação a alguns aspectos importantes, como, por exemplo: se o céu participa do movimento da Terra, participa de suas imperfeições.

Como então ele pode ser a residência de Deus? Além disso, a retirada da Terra do centro do universo representava uma queda no *status* do ser humano criado “à imagem e semelhança de Deus”.

**IHU On-Line – Obras de Stephen Hawking e Ronaldo Rogério de Freitas Mourão compõem a sua lista de textos para leitura a fim de aprofundar o assunto que o senhor apresentou no Ciclo de Estudos Desafios da Física. Quais foram as contribuições que ambos os pesquisadores oferecem à Física e qual o motivo que o levou a escolher esses livros como suporte à sua fala?**

**Geraldo Sigaud** – Tanto o físico Stephen Hawking quanto o astrônomo Ronaldo Mourão são pesquisadores extremamente ativos em suas áreas e têm dado contribuições muito importantes. Eu escolhi livros destes pesquisadores porque ambos possuem uma outra característica, bem mais rara, que é a de divulgadores da ciência para o público não-especializado.

**IHU On-Line – Antigamente, as novas teorias físicas causavam furor ao poder instituído, que temia ser questionado e, por isso, perseguia figuras como Galileu Galilei. Como a Física dialoga com as outras ciências hoje e qual é a sua recepção em termos governamentais e sociais? Há incentivos para a pesquisa continuar seu desenvolvimento no Brasil?**

**Geraldo Sigaud** – Há, hoje, uma forte interação entre a Física e várias outras ciências, em especial a Química e a Biologia. As descobertas mais recentes de todas essas ciências levam necessariamente à interdisciplinaridade, já que tanto os conceitos básicos quanto as aplicações estão fortemente correlacionados. No Brasil, continuamos ainda tendo grande parte do apoio à pesquisa sendo dado pelos governos federal e estaduais. Diferentemente dos países mais desenvolvidos, como Alemanha e Estados Unidos, o

apoio da iniciativa privada à pesquisa é ainda muito pequeno.

**IHU On-Line – Há um certo preconceito contra a Física. O senso comum costuma taxá-la de hermética, inacessível. É possível discutir essa ciência numa linguagem mais acessível ao grande público?**

**Geraldo Sigaud** – É claro que isso é possível! Este é um trabalho que vem crescendo nos últimos anos com os esforços dos divulgadores científicos: pesquisadores e estudiosos como Stephen Hawking e Ronaldo Mourão. Apesar de a Física utilizar uma linguagem matemática, com suas equações e leis, existem outros aspectos importantes a serem abordados. A “tradução” desta linguagem para uma mais acessível, explorando os aspectos qualitativos e mais fascinantes desta ciência, é um desafio que exige grande esforço, conhecimento e experiência por parte dos físicos. Para contornar essas dificuldades, é muito importante que este movimento de divulgação, desligado da linguagem matemática, esteja presente na formação dos novos físicos e professores do Ensino Médio.

**IHU On-Line – Como percebe o ensino da Física no Brasil, em nível médio e universitário? Que medidas poderiam ser implementadas a fim de suprir a carência de professores nessa área de conhecimento?**

**Geraldo Sigaud** – O ensino da Física no nível médio contribui muito para a criação do “mito” da Física como uma ciência inacessível. Em geral, a abordagem da Física no Ensino Médio é muito árida e abstrata com muitas “fórmulas” e esquemas desprovidos de qualquer significado para os estudantes. Assim, não é surpresa alguma a rejeição pela Física na escolha de carreira deles. Portanto, como eu já afirmei, é muito importante que um trabalho de valorização dos aspectos mais qualitativos da Física comece nas universidades, e chegue até o Ensino Médio por intermédio de seus professores.

***IHU On-Line – O Ano Mundial da Física está sendo comemorado em 2005, alusivo a 1905, quando Albert Einstein publicou suas cinco teses revolucionárias. Quais são os principais desafios ainda não resolvidos por esta ciência? Quais são os grandes temas hoje em discussão?***

**Geraldo Sigaud** – Acho que os principais desafios estão relacionados essencialmente à busca das origens: a origem do universo, a origem da vida e

a origem da vida na Terra. O primeiro tema tem recebido grande interesse recentemente, principalmente depois da entrada em operação do telescópio espacial Hubble, que tem enviado informações livres da interferência da atmosfera sobre o universo. Os outros dois estão fortemente relacionados aos imensos avanços recentes na área de biologia e genética, bem como de física atômica e molecular, física atmosférica e astrofísica.

## Da caricatura empirista a uma outra história

*Entrevista com Fernando Lang da Silveira*

*Fernando Lang da Silveira é professor do Departamento de Física da UFRGS. Graduado e mestre em Física pela UFRGS e é doutor em Educação pela PUCRS, com a tese intitulada Uma epistemologia racional-realista e o ensino da Física.*

**IHU On-Line – Que aspectos o senhor destacará em sua explanação no Ciclo de Estudos sobre a Física? Como o senhor relacionará Galileu, Pisa e plano inclinado com Einstein, os experimentos de Michelson-Morley; Bohr e os espectros de emissão atômica no mesmo encontro?**

**Fernando Lang** – O objetivo principal da minha palestra é mostrar que a “história da ciência” que encontramos nos livros-texto de Física é uma caricatura de uma história muito rica e complexa. Esta caricatura está baseada na epistemologia *empirista*. O *empirismo*, como concepção sobre o conhecimento científico, afirma que os cientistas obtêm as teorias científicas (leis, princípios, etc.), baseados na observação, na experimentação, em medidas. Ao relatar um episódio de descoberta científica, a história da ciência *empirista* apresenta os dados, os resultados observacionais/experimentais com base nos quais o cientista, aplicando as regras do método científico, produziu conhecimento. A caricatura *empirista* distorce e supersimplifica a história da ciência, omitindo os pressupostos extracientíficos, metafísicos sempre presentes na real atividade científica. Por não reconhecer que

os cientistas inventam e especulam, a história *empirista* se cala sobre as idéias que não se mostraram bem sucedidas. Somente as *idéias corretas* merecem um lugar nesta história, pois, para quem segue o *método científico*, como poderia incorrer em erro? Na palestra, apresentarei a caricatura *empirista* de três grandes protagonistas das revoluções científicas modernas (Galileu) e do século XX (Einstein e Bohr)<sup>93</sup> e depois contarei uma outra história sobre a Teoria da Queda dos Graves, a Teoria da Relatividade Restrita e a Teoria do Átomo de Bohr. Mostrarei que a gênese das suas teorias é diferente e muito mais interessante do que a versão conhecida por meio dos livros-texto de Física. Os três episódios considerados na palestra exemplificam que “a epistemologia sem contato com a ciência se torna um esquema vazio. A ciência sem epistemologia – até o ponto em que se pode pensar em tal possibilidade – é primitiva e paralisada” (Einstein).

**IHU On-Line – Quais os impactos na história do conhecimento e da humanidade das descobertas da física quântica?**

**Fernando Lang** – Do ponto de vista epistemológico e ontológico, a física quântica se constitui em uma revolução, revelando que o mundo microscópico possui propriedades surpreendentes, contra-intuitivas. A nossa intuição macroscópica atribui aos corpos determinadas propriedades que não são aplicáveis aos entes quânticos, pois eles parecem não possuir posição e *momentum* defini-

<sup>93</sup> Sobre Einstein e Bohr, conferir a **IHU On-Line** número 135, de 4 de abril de 2005. (Nota da **IHU On-Line**)



dos, além de exibir comportamentos ondulatórios. Assim também a energia de um elétron ligado a um átomo não pode variar de maneira contínua, mas de forma discreta, quantizada. Estes são alguns exemplos do que aprendemos com a física quântica. As aplicações práticas, tecnológicas da física quântica estão incorporadas ao cotidiano sem que a maioria das pessoas tenha consciência disso. Ao utilizarmos qualquer tecnologia eletrônica, como, por exemplo, um aparelho de telefonia celular, estamos nos valendo da física quântica. Ou seja, sob qualquer ângulo, a física quântica tem um enorme impacto no mundo atual.

**IHU On-Line – Como o senhor avalia a possibilidade de aplicação dos conceitos da física quântica para outros campos do conhecimento? É possível um debate transdisciplinar sobre a física?**

**Fernando Lang** – Apesar de todo o sucesso tecnológico da física quântica, nem os físicos convergem quanto às questões de interpretação e significado desta nova teoria. É paradigmático o debate sobre a mecânica quântica entre os dois grandes cientistas Einstein e Bohr, somente encerrado com a morte do primeiro. Bohr defendia uma interpretação *idealista subjetiva*, enquanto Einstein era um *realista*. Atualmente, há diversas interpretações para a física quântica e ninguém pode dizer que possui a interpretação correta. No domínio das ciências humanas e sociais, prolifera literatura que tenta extrapolar os conceitos da física quântica para outros domínios. Ora, qualquer tentativa

de fazer isso é, no mínimo, problemática, já que nem os físicos possuem um consenso sobre tais conceitos, sobre as questões de interpretação e significado. Essa literatura, de um modo geral, peca porque tenta passar a idéia de que, no âmbito da física, existe uma única interpretação; a interpretação adotada nesses textos é a *interpretação da Escola de Copenhagen* (defendida por Bohr, Born, Heisenberg<sup>94</sup>, ...), que está lastreada em uma *filosofia idealista subjetiva*, mais especificamente, *positivista*. A *interpretação da Escola de Copenhagen*, forjada no final da década de vinte do século passado, coincide e se alimenta da filosofia da ciência que então era predominante: a *filosofia positivista do Círculo de Viena*<sup>95</sup>. O mais impressionante é que os representantes das ciências sociais e humanas que se aventuram nessa tarefa de extrapolar os conceitos da física quântica para outros domínios acreditam que a *interpretação de Copenhagen* seja um rompimento com o *positivismo*!!

**IHU On-Line – Em linhas gerais, quais as principais divergências nos debates da física na atualidade e quais serão seus possíveis reflexos na sociedade?**

**Fernando Lang** – Como tentei demonstrar antes, o debate sobre as questões de interpretação da física quântica está em aberto mesmo no domínio da física. Na minha opinião, urge que os cientistas humanos e sociais deixem de procurar na física a solução para os seus problemas, deixem de acreditar que a *última teoria física* iluminará os seus caminhos.

<sup>94</sup> Werner Heisenberg: físico alemão encarregado do programa nuclear de Hitler. Durante o Simpósio Internacional **Terra Habitável: um desafio da humanidade**, realizado na Unisinos em maio deste ano, foi apresentada a peça teatral *Copenhagen*, que teve como temas centrais a questão nuclear, a ética e a responsabilidade dos cientistas, remetendo-se a um misterioso encontro, em 1941, entre os pais da física quântica, Niels Bohr e Werner Heisenberg. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>95</sup> Círculo de Viena: movimento filosófico iniciado nas duas primeiras décadas do século XX, responsável pela criação uma corrente de pensamento intitulada positivismo *lógico*. Este movimento surgiu na Áustria, como reação à filosofia idealista e especulativa que prevalecia nas universidades alemãs. (Nota da **IHU On-Line**)

## Investigar fenômenos, utilizando abstrações matemáticas

### *Entrevista com Ney Lemke*

Ney Lemke é professor do Programa Interdisciplinar de Computação Aplicada da Unisinos. É graduado, mestre e doutor em Física pela UFRGS. No dia 3 de novembro de 2004, durante o evento **Abrindo o Livro**, o professor Ney apresentou a obra **The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems and Adaptation**, de G. W. Flake. Cambridge: The MIT Press, 2000. Sobre ela, concedeu uma entrevista à **IHU On-Line**, publicada na matéria de capa da 120ª edição, de 25 de outubro de 2004. Ele também foi o responsável por apresentar o tema **Bioinformática: uma nova perspectiva para compreender a vida** no evento **IHU Idéias**, do dia 28 de outubro de 2004. A **IHU On-Line** entrevistou o professor Ney Lemke na 69ª edição, de 4 de agosto de 2003, sobre as possibilidades dos softwares livres e sua compatibilidade com os comerciais. Também publicamos, na editoria **Livro da Semana**, da edição número 130, de 28 de fevereiro de 2005, a resenha escrita pelo professor Dr. Ney Lemke do livro **A vida do cosmos**, de Lee Smolin.

#### **IHU On-Line – Quais as maiores contribuições de Newton à Física moderna? Que revoluções causadas por suas descobertas o senhor destacaria?**

**Ney Lemke** – As contribuições de Newton passam todas as áreas da Física e muitas áreas da Matemática. Entre elas, podemos destacar as Leis de Newton e a Gravitação Universal. A contribuição mais relevante e perene de Newton, no entanto, se refere ao método que desenvolveu para propor e testar suas teorias, que, em linhas gerais, pode ser resumido em: criação de modelos matemáticos; resolução dos modelos, utilizando

do métodos matemáticos rigorosos; comparação das predições com experimentos e observações quantitativas.

#### **IHU On-Line – Quais as diferenças entre Cosmologia e Astronomia?**

**Ney Lemke** – Astronomia é a ciência que estuda os corpos celestes e engloba tanto aspectos teóricos como observacionais. A Cosmologia é voltada ao estudo de todo o universo, enfatizando a modelagem matemática.

#### **IHU On-Line – A cosmologia de Newton pressupõe elementos isolados articulados em sistemas graças à ação de certas forças naturais. Quais as conseqüências da perda implicada por essa fragmentação do mundo, por essa ênfase na segmentação dos elementos constitutivos de todos os entes?**

**Ney Lemke** – A cosmologia de Newton, ou seja, a visão de mundo do ser humano Isaac Newton, não era fragmentada. Ele era um homem profundamente religioso e sua visão de mundo incluía um ser onisciente e onipotente que regia o cosmos. Mas, de fato, ele acreditava na idéia de que o cosmos é formado por átomos que interagem mediante forças. Para os mecanicistas, como Descartes, estas forças deveriam ser forças de contato. Newton se deparou com um problema que ele nunca conseguiu resolver de forma satisfatória, a gravitação aparentemente agia à distância e prescindia de qualquer agente físico. Nesta atitude de Newton, encontramos um traço que torna sua ciência a nossa ciência contemporânea, ou seja, a capacidade de investigar fenômenos que não conseguimos entender de forma intuitiva, utilizando

abstrações matemáticas. Eu considero difícil falar das perdas que tal perspectiva acarretou, pois do ponto de vista moderno, a Física desenvolvida por outras abordagens, como a aristotélica, possui um impacto insignificante no pensamento moderno.

***IHU On-Line – A física newtoniana pressunha essencialmente o movimento e visava a ele, mas um movimento que se expressava, sobretudo, como uma temporalidade reversível, típica do pensamento físico-matemático. Como é possível aplicar isso de forma prática?***

**Ney Lemke** – As aplicações desta abordagem incluem praticamente todos os avanços tecnológicos obtidos desde então, incluindo de forma direta as viagens interplanetárias, a decodificação do DNA, a invenção da televisão, etc.

***IHU On-Line – Qual a relação entre a cosmologia newtoniana e a Teoria da Gravitação clássica de Newton?***

**Ney Lemke** – A teoria da gravitação de Newton é um dos elementos de sua Cosmologia, mas devemos incluir outros, como o espaço e tempo absolutos, a cronologia bíblica, a influência de Deus na organização e criação do cosmo.

***IHU On-Line – E qual a relação da cosmologia de Newton com a cosmologia relativista de Einstein?***

**Ney Lemke** – Einstein retoma muitas das questões levantadas por Newton, em especial, a equivalência entre a massa gravitacional (proveniente da Lei da Gravitação Universal) e inercial (originária da lei de Newton) e a discussão do espaço tempo absoluto. Na verdade, Einstein consegue ataca

car alguns dos problemas que Newton não conseguiu atacar. O mais crítico deles é que Einstein consegue propor uma base mecânica para a gravitação universal e abandonar a idéia de ação à distância (que era desagradável ao próprio Newton).

***IHU On-Line – Sobre quais físicos Newton exerceu maior influência?***

**Ney Lemke** – A evolução da Física passa necessariamente por Newton. Nenhuma idéia na Física pós-newtoniana está desconectada do pensamento de Newton. Mesmo a Mecânica Quântica está alicerçada no método de Newton.

***IHU On-Line – Qual a importância que o senhor vê em um debate sobre os desafios da Física para o século XXI em uma universidade?***

**Ney Lemke** – Os avanços da Física pautaram os avanços tecnológicos da humanidade nos últimos três séculos. Talvez no século XXI, este papel possa ser desempenhado pela Biologia. Mas, de qualquer forma, a Física continuará a ser vital para compreendermos a nossa sociedade e antever o impacto que as novas tecnologias possam causar nela.

***IHU On-Line – Gostaria de acrescentar mais algum comentário sobre o tema?***

**Ney Lemke** – Eu gostaria de acrescentar que, pela minha experiência, as pessoas, em geral, têm uma visão bastante equivocada da figura humana Isaac Newton e de sua visão de mundo. A trajetória de Newton é espetacular e inclui muitos aspectos surpreendentes, como, por exemplo, sua paixão por alquimia e suas disputas viscerais com Hooke.

## O “xeque-mate” de genialidade do jovem Einstein. Como separar o caráter quântico da teoria quântica que busca descrevê-lo

*Entrevista com Enio Frota da Silveira*

*Enio Frota da Silveira é professor do Departamento de Física da PUC-Rio. Mestre em Física pela PUC-Rio, é doutor em Física pela Université Paris Sud (França) e pós-doutor pela Texas A M University (Estados Unidos).*

**IHU On-Line – Colocamos em discussão as descobertas que viabilizaram o desenvolvimento e aprofundamento do conhecimento da Física e sua aplicação em diferentes áreas. Como as vidas e as obras científicas dos personagens que influenciaram o trabalho, a vida e a obra de Einstein podem contribuir para isso?**

**Enio Frota** – Segundo Einstein, os quatro cientistas que mais influenciaram seus trabalhos foram Galileu (1564-1642)<sup>96</sup>, Newton (1642-1727)<sup>97</sup>, Maxwell (1831-1879)<sup>98</sup> e Lorentz (1853-1928)<sup>99</sup>. O primeiro, autor do livro **Diálogo sobre duas novas ciências**, reformulou os conceitos de força e movimento, a Lei da Inércia e enunciou o Princípio da

Relatividade: as leis físicas são iguais nos sistemas com velocidade constante. Foi sobre este princípio que Einstein ergueu sua Teoria da Relatividade. O segundo, Isaac Newton, autor do **Principia Mathematica Philosophie Naturalis**, atrelou definitivamente a Física à Matemática, enunciou as Leis da Gravitação Universal, da Ação e Reação e estabeleceu a importante relação entre massa, força e aceleração. Defendeu a hipótese de que: 1) a luz seria formada por partículas – idéia que foi aperfeiçoada por Einstein e que revelou a existência dos *quanta* de luz – e 2) o tempo e a simultaneidade de eventos são absolutos – consideração que foi atacada por Einstein na sua Teoria da Relatividade. Maxwell é o arquiteto do eletromagnetismo e o sintetiza em quatro equações. Deduz dela que a velocidade das ondas eletromagnéticas (em particular a luz) é finita e calcula seu valor. Einstein concilia idéias aparentemente contraditórias sobre a natureza da luz e propõe que ela seja uma onda localizada no espaço. Lorentz, contemporâneo de Einstein, combina

---

<sup>96</sup> Galileu Galilei (1564-1642): grande astrônomo italiano e o primeiro grande físico da Renascença. Fez descobertas fundamentais no campo da Física e da Astronomia, revolucionando a ciência da sua época. Considerado o primeiro grande gênio da ciência moderna, valorizou a técnica e a experimentação. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>97</sup> Isaac Newton (1642-1727): físico, astrônomo e matemático inglês. Revelou como o universo se mantém unido por sua Teoria da Gravitação, descobriu os segredos da luz e das cores e criou um ramo da Matemática, o cálculo infinitesimal. Essas descobertas foram realizadas por Newton em um intervalo de apenas 18 meses, entre os anos de 1665 e 1667. É considerado um dos maiores nomes na história do pensamento humano, por causa da sua grande contribuição à Matemática, à Física e à Astronomia. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>98</sup> James Clerk Maxwell (1831-1879): cientista inglês e um dos maiores matemáticos e físicos do século XIX. Sua enorme fama deve-se aos estudos de eletricidade em movimento e à Teoria Cinética dos Gases. Foi um grande físico experimental e teórico. Sua obra mais conhecida é o **Tratado de eletricidade e magnetismo**, publicado em 1873, e reconhecido atualmente como o fundamento da Teoria Eletromagnética. (Nota da **IHU On-Line**)

<sup>99</sup> Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928): físico holandês, que se tornou conhecido por sua Teoria Eletrônica da Matéria. Compartilhou o prêmio Nobel de Física de 1902 com o físico holandês Pieter Zeeman pela descoberta dos efeitos do magnetismo sobre a luz (efeito Zeeman). (Nota da **IHU On-Line**)

as Leis de Newton e as Leis de Maxwell para determinar o movimento dos elétrons nos átomos. Foi o precursor da idéia de que o tempo não é absoluto e depende da velocidade do observador.

***IHU On-Line* – Einstein foi um marco, um divisor de águas para a Física. Que características de sua personalidade e da história de sua vida podem ajudar a entender como ele, um cientista tão jovem e inexperiente, com 26 anos, pôde ter elaborado cinco artigos que mudaram a forma de ver o mundo em apenas um ano (1905)?**

**Enio Frota** – O momento em que Einstein começou sua vida profissional foi caracterizado por uma revolução científica. A visão do universo mudava. Os átomos e as galáxias estavam sendo descobertos, assim como os elétrons, os raios-X, a radioatividade... Encontraram-se evidências concretas de que o famoso éter não existia. Planck<sup>100</sup> lançara a idéia dos *quanta*. Lorentz e Poincaré<sup>101</sup> começavam a destrinchar o enigma das observações de fenômenos físicos feitas por observadores em velocidades diferentes. O jovem Einstein, com sua genialidade, deu um “xeque-mate” em vários problemas da época.

***IHU On-Line* – Que decorrências, na teoria e na prática cotidiana das descobertas de Einstein, o senhor destacaria?**

**Enio Frota** – Suas descobertas geraram muitas aplicações importantes, entre as quais destaco duas: o entendimento da transformação de matéria em energia permitiu a construção de centrais nucleares, e o conceito de emissão estimulada de luz levou à construção do laser.

***IHU On-Line* – Como Einstein aparece nas novas descobertas físicas, como a computação quântica?**

**Enio Frota** – O físico Richard Feynman<sup>102</sup> concebeu a computação quântica, que permitiria a realização de um computador extremamente rápido e pequeno, de dimensões da escala atômica. Uma possibilidade seria o uso do *spin* do elétron como *bit* na representação de números, o qual está sujeito às leis da Mecânica Quântica. Ao contrário do que aconteceu na Teoria da Relatividade, não vejo como central o papel de Einstein nesta questão. Sua contribuição ocorreu indiretamente, por meio de trabalhos sobre mecânica estatística dos sistemas microscópicos, como o de 1905 sobre o movimento browniano.

***IHU On-Line* – Por que razão a ciência pura de Einstein ultrapassou os portões da academia e foi incorporada ao vocabulário das pessoas comuns, ajudando a moldar a cultura popular?**

**Enio Frota** – Idéias como a aniquilação da matéria, transformado-a em energia, e a dedução de que o tempo não é absoluto dispararam a imaginação de cientistas e de leigos. Armas superpoderosas foram construídas e viagens fantásticas intergalácticas ou no tempo são cogitadas. Filmes como Guerra nas Estrelas ou os de James Bond assumem ar de verossimilhança e são sucesso mundial.

***IHU On-Line* – Que relações podem ser estabelecidas entre a física de Isaac Newton e a física de Einstein?**

**Enio Frota** – A física de Isaac Newton é a do dia-a-dia, chegando até mesmo a ser válida na es-

<sup>100</sup> Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947): físico teórico alemão. Dedicou-se ao estudo da termodinâmica. O fenômeno de absorção e emissão de energia radiante o atraía muito. Em 1900, Planck propôs a Lei da Radiação, estabelecendo os fundamentos para o desenvolvimento da Teoria Quântica. Esta nova teoria revolucionou a Física. Em 1918, Planck foi agraciado com o prêmio Nobel de Física por suas realizações sobre a radiação do corpo negro. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>101</sup> Jules Henri Poincaré (1854-1912): cientista francês. Foi um dos maiores matemáticos dos tempos modernos. Utilizando a Matemática como instrumento, fez também pesquisas em diversas outras áreas, como eletricidade, luz e movimentos dos planetas. Escreveu vários livros e ensaios sobre a filosofia da ciência. Seus livros mais famosos são **Ciência e hipótese** (1902), **O valor da ciência** (1909) e **Ciência e método** (1909). (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>102</sup> Richard Feynman (1918-1988): físico norte-americano. Ganhou o Prêmio Nobel de 1965 por sua teoria das interações entre os elétrons e os fótons (Eletrodinâmica Quântica). (Nota da *IHU On-Line*)

cala planetária. Ela resolve a esmagadora maioria dos problemas de mecânica da escala humana, aqueles relacionados com a engenharia convencional. A física de Einstein é a das altíssimas velocidades (próximas à da luz) ou das massas imensas (como a das estrelas). Nestas condições, a mecânica newtoniana falha.

**IHU On-Line – Como o senhor avalia a possibilidade de aplicação dos conceitos da Física Quântica para outros campos do conhecimento? É possível um debate transdisciplinar sobre a Física?**

**Enio Frota** – Possível é, e deve ser tentado. Ambos os lados podem lucrar com esta discussão. O exercício deve ser feito com cautela, entretanto. Alguns dos conceitos envolvidos são extremamente abstratos, e a Matemática aparece como apoio indispensável no seu tratamento. Levar estes conceitos para um terreno em que a Matemática entra de forma limitada pode não ser frutuoso. Um exemplo típico em que um conceito físico pode aparecer em outra área é o Princípio da Incerteza de Heisenberg<sup>103</sup>, que estabelece limites para nosso conhecimento, isto é, em certas circunstâncias, não há progresso tecnológico possível que permita melhorar a precisão de observações. Para materializar o conceito: os microscópios óticos são cada vez melhores, mas nunca poderão nos mostrar vírus ou objetos menores.

**IHU On-Line – Em linhas gerais, quais as principais divergências nos debates da Física na atualidade e quais serão seus possíveis reflexos na sociedade?**

**Enio Frota** – A Física avança para o muito grande (Astrofísica), o muito pequeno (partículas elementares) e o muito complexo (plasmas, nanociência<sup>104</sup>, biofísica, por exemplo). Os instrumentos de pesquisa são cada vez maiores, mais complexos, mais eficientes e requerem mais energia e

maior poder de computação. Para levar a cabo essa operação, é necessário, em particular, um exército de pesquisadores experimentais e teóricos, com boa formação, capazes de interagir com profissionais de áreas afins. A sociedade continuará a receber os frutos dos empreendimentos que financia, seja na forma de respostas a perguntas do tipo: de onde viemos? como somos feitos? onde estamos? Etc. ou na forma de ferramentas capazes de melhorar nossa qualidade de vida ou como impedir que um cometa nos destrua.

**IHU On-Line – Qual a importância que o senhor vê em um debate sobre os desafios da Física para o século XXI em uma universidade?**

**Enio Frota** – A importância da universidade neste processo é formar adequadamente novos pensadores, assim como professores, pesquisadores e alunos, gerando novas idéias e desenvolvendo projetos de mérito.

**IHU On-Line – Gostaria de acrescentar mais algum comentário sobre o tema?**

**Enio Frota** – Desvendando boa parte dos fenômenos atômico-moleculares, o homem dispõe, hoje, de conhecimento e de tecnologia para atacar problemas complexos. Não desprezando o que aprenderemos no “muito pequeno” e “no muito grande”, tenho a convicção de o século XXI será marcado pelo grande desenvolvimento científico na área bio. A Física, atuando com novas abordagens, novos conceitos, instrumentação mais poderosa, estará sempre presente nesta área.

**IHU On-Line – A física vem se revelando um dos mais fascinantes campos do conhecimento humano. Entretanto, ela parece despertar pouco interesse entre os jovens estudantes. Quais as razões desse afastamento, na sua opinião? Ele tem diminuído? Quais**

<sup>103</sup> O princípio de indeterminação ou princípio da incerteza foi desenvolvido pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976), que se celebrou por seus estudos de física nuclear teórica. Esse princípio estabelece que é impossível determinar, com alta precisão, simultaneamente, a posição, a velocidade e a energia de um elétron em movimento. (Nota da *IHU On-Line*)

<sup>104</sup> A revista *IHU On-Line* número 120, de 25 de outubro de 2004, dedicou sua matéria de capa ao tema das nanotecnologias. Sítio [www.unisinos.br/ihu](http://www.unisinos.br/ihu) (Nota da *IHU On-Line*)

**os aperfeiçoamentos que o ensino da Física está a exigir?**

**Enio Frota da Silveira** – Concordo obviamente com a afirmação. A física, nos três últimos séculos, tem sido uma das molas mestras do progresso científico, revelando-nos como é o mundo em que vivemos e fornecendo uma infra-estrutura para o desenvolvimento de outras disciplinas. Sem a física, os computadores não passariam de ábacos e as telecomunicações por rádio não existiriam. Foi também graças a ela que sabemos hoje que o Universo está em expansão há 14 bilhões de anos. De descobertas da física surgiram aparelhos ou técnicas como os raios-X, os lasers, as microondas e a ultra-sonografia, que modificaram profundamente a medicina moderna e a telefonia. É quase inconcebível imaginar a sociedade atual sem o benefício de tais avanços tecnológicos. Descobrimos também que a vida teve início na Terra há quase quatro bilhões de anos e que muito dificilmente entraremos em contacto com seres extraterrestres. Tais informações “cosmológicas” transcendem a própria física e invadem campos como filosofia, teologia, antropologia e paleontologia. Quanto à redução do interesse pela física entre os jovens, seria conveniente perguntar a eles a razão. De qualquer forma, acho que este comportamento é mais amplo e profundo, pois inclui a matemática, a química e, de certa forma, também as engenharias. A sociedade moderna desfruta de muito conforto e vemos que freqüentemente as inovações tecnológicas visam ao consumismo. Pode ser, então, que muitos jovens julguem que tudo já esteja inventado e não se sintam motivados ao estudo das ciências exatas. Há uma visível fuga do tecnológico, ao contrário do movimento das décadas 1950-70. Essa tendência apresenta um grande desafio aos professores. Realizações como o Museu de Ciência da PUC-RS buscam aproximar o público, principalmente o jovem, das ciências exatas e tecnológicas. Como em parte as necessidades ditam as investigações, talvez uma forma de motivá-lo seja realçar, no ensino da Física, as questões que afligem o homem mo-

derno. Não é por acaso que tem crescido o interesse pela biofísica.

**IHU On-Line – Entre os aperfeiçoamentos referidos na questão anterior, estaria uma aproximação com a filosofia? Qual é a sua opinião sobre a aplicação dos conceitos quânticos em outros campos do conhecimento humano?**

**Enio Frota da Silveira** – A física básica sempre esteve próxima da filosofia. Temas como o geocentrismo e a teoria atômica de Demócrito<sup>105</sup> geraram debates intensos entre físicos e filósofos. A teoria da relatividade e a física quântica continuam promovendo discussões entre eles. A aplicação dos conceitos quânticos em outros campos do conhecimento é tentadora no sentido revolucionário, quebrando paradigmas com conceitos clássicos. Um desses conceitos é o Princípio da Incerteza, que postula para determinadas circunstâncias que a informação possível de ser obtida é limitada por “princípio”, isto é, ao atingir um certo limite, não adianta usar um aparelho mais caro ou sofisticado, trocar de método, etc. que nunca poderemos aumentar nosso grau de informação. Quanto mais conhecimento conseguimos sobre uma grandeza, menos sabemos sobre uma outra associada. Esta idéia tem sido estendida a outras áreas, mas talvez deva ser apenas em um sentido metafórico.

**IHU On-Line – Quais são os principais problemas teóricos enfrentados pela física neste começo de século? O que, por assim dizer, falta “resolver”?**

**Enio Frota da Silveira** – Em linhas gerais, a pesquisa hoje em física está direcionada para o muito grande (cosmologia), para o muito pequeno (partículas elementares) e para o muito complexo (demais áreas da física). Por exemplo, gostaríamos de saber “como” o universo se expande, “como” os *quarks* interagem e “como” milhões de átomos se reúnem para formar um DNA. Outro problema a resolver: todos os fenômenos físicos que conhecemos e que estudamos, podem ser explicados por

<sup>105</sup> Demócrito de Abdera (480aC-380aC), filósofo grego que acreditava que tudo estava predeterminado por ser resultado de um simples jogo de causa e efeito entre os átomos (Nota da *IHU On-Line*).

quatro tipos fundamentais de força: a gravitacional, a elétrica, a nuclear e uma denominada de fraca. Um grande problema teórico é a unificação dessas quatro interações.

***IHU On-Line – Pode-se dizer que a física quântica nos revelou a existência de um mundo impossível de apreender objetivamente? Se assim é, como se pode lidar objetivamente com uma sucessão de fenômenos não-objetivos?***

**Enio Frota da Silveira** – Talvez as idéias que temos sobre física quântica fiquem mais tangíveis se separarmos o “caráter” quântico da natureza da

“teoria” quântica que busca descrevê-lo. É um fato que a natureza é quântica no mundo microscópico. Uma prova disso é que todos os elétrons ou prótons são absolutamente iguais (indistinguíveis) enquanto que asteróides, planetas ou estrelas são todos diferentes uns dos outros; outra prova “visível” do comportamento quântico (não contínuo) da natureza é que as luzes de algumas lâmpadas amarelas, usadas na iluminação pública podem ter intensidades diferentes, mas têm exatamente a mesma cor. Esses fenômenos são bem objetivos. Por outro lado, a teoria que temos para descrevê-los é tremendamente abstrata. Mas isso é outra estória...



## O universo de Einstein

*Entrevista com Horácio Alberto Dottori*

*Horácio Alberto Dottori é graduado em Astronomia pela Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, e especialista no mesmo assunto pelo Max Planck Institut Fur Physik And Astrophysik, Alemanha. É doutor em Física pela UFRGS, com a tese Espectro de Absorção, Contínuo Óptico e Vermelhamento em Núcleos Normais e Ativos de Galáxias. Fez três pós-doutorados: na Royal Greenwich Observatory, Inglaterra; no Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS, França; na Ruhr Universitat Bochum, RU-BO, Alemanha. Atualmente é vice-coordenador do Observatório Educativo Itinerante, coordenador do grupo de Dinâmica de Sistemas Estelares e professor do Departamento de Astronomia dessa universidade.*

**IHU On-Line – Quais são os maiores equívocos ligados à imagem de Einstein?**

**Horácio Dottori** – Não conheço equívocos. Provavelmente a transformação dele num mito seja contraproducente ao desenvolvimento da ciência, embora seja um dos gigantes das ciências.

**IHU On-Line – Acredita que a figura de Einstein ajude a despertar o interesse das novas gerações pela Física?**

**Horácio Dottori** – Eu espero que sim, embora o ideal da juventude seja moldado em figuras às vezes antagônicas à de Einstein.

**IHU On-Line – Einstein refletiu uma década sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Quais são as principais contribuições dessa teoria?**

**Horácio Dottori** – Não conheço, mesmo que Einstein tenha refletido uma década sobre a TRR. Resulta, porém, impossível de serem enumeradas as contribuições. Se pudesse sintetizar em duas palavras seria uma “crítica acertada ao comportamento da luz”, que levou à unidade dos conceitos de espaço e de tempo. Daqui saem milhares de resultados.

**IHU On-Line – De que modo as descobertas de Einstein contribuem para um novo entendimento do Universo?**

**Horácio Dottori** – Aqui de novo se aprofunda a crítica ao comportamento da luz. O nascimento da Teoria da Relatividade Geral parte da crítica ao comportamento dos fótons num campo gravitacional e como o fóton é afetado pelo campo. Não é que essa idéia fosse nova. Ela já tinha sido esboçada 100 ou mais anos antes, já que na fórmula da aceleração newtoniana não entre a massa da partícula acelerada, mas somente a da acelerante, portanto um fóton também poderia ser acelerado no campo gravitacional. Todavia o limite do módulo da velocidade da luz da Relatividade Restrita se mantém na RG, e o fóton é afetado de duas maneiras: 1) o campo gravitacional curva a sua trajetória (órbita) e 2) o campo muda a energia do fóton.

**IHU On-Line – Quais os aspectos que a Astronomia mais aproveita das descobertas de Einstein?**

**Horácio Dottori** – Existem inúmeros. Um exemplo: se observamos uma fonte luminosa (por exemplo um Quasar, uma supernova etc.) que se

movimenta a uma grande velocidade em relação a nós (por exemplo 299.000 km/seg), cuja luz varia no nosso relógio com um dado período, sabemos calcular qual é o período de variação num relógio instalado no objeto em questão. Dessa forma, podemos compará-los com objetos semelhantes vizinhos da nossa galáxia.

***IHU On-Line – O que seria mais importante comemorar em 2005, Ano Mundial da Física?***

**Horácio Dottori** – O método científico como forma de conhecimento, a regularidade dos fenômenos naturais que faz possível o seu estudo e o estabelecimento de leis (imagine se, de pronto, a assistíssemos um porco voando, como diz o meu

amigo Aníbal Damasceno). Paralelamente, lamentar a pequenez desta fase da evolução do universo à que chamamos consciência, que, na sua limitação, pode chegar a autodestruir-se, ou acabar com o seu habitat.

***IHU On-Line – Gostaria de acrescentar mais algum aspecto que aqui não abordamos?***

**Horácio Dottori** – Talvez o desafio das próximas décadas seja salvar o meio ambiente. Isso é paradoxal, pois provavelmente saibamos o que deveria ser feito para compensar a agressão que ele está sofrendo, mas não tenhamos a menor possibilidade de implementá-lo. Não sei se isso tem a ver com Einstein, mas definitivamente tem a ver com um sistema físico, que é o nosso habitat.

## A Onipresença transformadora dos princípios quânticos: desafios e possibilidades

*Entrevista com Fernando Haas*

*Fernando Haas é graduado, mestre e doutor em Física pela UFRGS, com a tese **Sistemas de Ermakoy Generalizados, Simetrias e Invariantes**. Fez pós-doutorado na Université Henri Poincaré, UHP, França.*

**IHU On-Line – Em linhas gerais, o que é a computação quântica e qual o contexto no qual surgiu?**

**Fernando Haas** – A computação quântica é a arte de processar informação, utilizando regras da física quântica, em contraposição à computação clássica, que é a arte de processar informação, usando as regras da física clássica. Afora por alguns trabalhos pioneiros, a computação quântica tem sido desenvolvida mais fortemente nos últimos dez anos. Isso se deve ao descobrimento de certos problemas que podem ser resolvidos adequadamente por computadores quânticos e que não podem, aparentemente, ser resolvidos eficientemente nem mesmo pelo melhor supercomputador disponível hoje. Além disso, vemos um aumento de nossa capacidade de manipular sistemas microscópicos, como na nanotecnologia. Estes desenvolvimentos nos dão a esperança de que seja possível fabricar, na prática, computadores quânticos de grande poder de processamento.

**IHU On-Line – Quais são os principais desafios da computação quântica para o século XXI?**

**Fernando Haas** – O desafio principal é criar estratégias para fazer funcionar na prática a compu-

tação quântica, até agora restrita a simulacros de computadores quânticos, dispondo de um poder de cálculo muito pequeno. Para funcionar adequadamente, um computador quântico precisa de um alto grau de isolamento do mundo externo, e é isso que tem travado a fabricação destas máquinas. Outros desafios envolvem a criação de novos algoritmos quânticos, o que exige pensar de acordo com as normas da física quântica. Isso não é fácil porque estamos acostumados a pensar de acordo com uma intuição que vem da nossa experiência do dia-a-dia, a qual é uma experiência baseada na física clássica.

**IHU On-Line – Quais as diferenças entre fazer computação do modo tradicional e conforme as regras quânticas?**

**Fernando Haas** – A computação clássica funciona em termos de objetos exclusivistas. Ou zero, ou um; ou sim, ou não; ou cara, ou coroa; ou colorado, ou gremista, e assim por diante. A unidade básica da informação clássica é o bit, o qual pode adotar os valores zero ou um. Já a computação quântica não necessita desta lógica exclusivista, de modo que os objetos básicos da computação quântica sobrevivem como uma superposição de dois estados. Por exemplo, seria como se uma moeda pudesse assumir simultaneamente os estados cara e coroa. Outro aspecto que só existe na computação quântica é uma forte correlação entre sistemas que estão distantes no espaço. Isso se verifica, por exemplo, no fenômeno do teletransporte, que envolve a transmissão de informação à

distância e sem necessidade de nenhum intermediário como uma onda de rádio ou algo semelhante.

**IHU On-Line – Em quais aplicações a computação quântica é hoje mais utilizada?**

**Fernando Haas** – Como ainda não dispomos de computadores quânticos com grande capacidade de processamento, muitas das aplicações imaginadas ainda não se concretizaram. Este é o caso, por exemplo, do uso de algoritmos quânticos para quebrar os esquemas de criptografia mais usados atualmente. Só para explicar um pouco, criptografia é a arte de enviar mensagens em código. Por exemplo, na hora de enviar uma informação secreta pela Internet (como uma senha de banco), se utiliza um esquema de criptografia. Pode-se demonstrar que mesmo o melhor supercomputador atual levaria bilhões de anos para quebrar o esquema criptográfico (RSA), que é o mais frequentemente utilizado. Um computador quântico de médio porte, entretanto, levaria um tempo muito mais acessível. Por isso, há tanto interesse por parte dos departamentos de defesa pelo mundo afora em desenvolver a computação quântica. Por outro lado, concretamente, já existem alguns esquemas para transmissão segura de informação, inviolável a espionagem. Estes esquemas se baseiam na teoria da informação quântica e já estão sendo comercializados.

**IHU On-Line – Qual é a situação brasileira sobre a pesquisa voltada à computação quântica?**

**Fernando Haas** – Temos pesquisas de projeção internacional, como no caso do grupo liderado pelo professor Luiz Davidovich, do instituto de física da UFRJ. Trata-se, mais propriamente, de pesquisa sobre informação quântica, envolvendo fenômenos tais como o teletransporte, incluindo avanços teóricos e experimentais. No entanto, aos poucos os departamentos de computação brasileiros estão despertando para a nova realidade, tirando dos departamentos de física a exclusividade no assunto. Por exemplo, o Laboratório Nacional de Computação Científica, no Rio de Janeiro, conta com um grupo de pesquisas sobre algoritmos quânticos. A teoria dos algoritmos, como se

sabe, está no arcabouço da teoria da computação e não da física. Espera-se que a colaboração entre físicos e informatas brasileiros permita ao País competir com um mínimo de dignidade nesta área que pode até se tornar central na economia mundial. Quem sabe, sendo otimistas, seja possível contar com maior apoio governamental e de grandes empresas de informática para pesquisas na área no Brasil.

**IHU On-Line – Que relações podem ser estabelecidas entre a física quântica e a computação quântica?**

**Fernando Haas** – Na medida em que as regras do jogo na computação quântica são regras quânticas, não faz sentido conceber uma computação quântica sem a física quântica. Entretanto, indo além desta observação meio óbvia, a computação quântica, de certa forma nos ajudou a entender de modo diferente a própria física quântica. De fato, podemos imaginar que a natureza é um grande computador, transformando continuamente o presente no futuro. Já que atualmente a teoria aceita para o mundo natural é a física quântica, podemos interpretar nosso universo como um computador quântico, processando informação, usando regras quânticas.

**IHU On-Line – De que forma a computação quântica pode auxiliar na pesquisa a respeito da consciência e inteligência artificial?**

**Fernando Haas** – Uma das questões básicas da inteligência artificial é responder se seria possível construir uma máquina com os atributos de um ser inteligente. Esta máquina haveria de ter capacidade de escolha autônoma, consciência e assim por diante, embora não seja evidente o que chamamos de “inteligência”. Caso esta máquina funcionasse seguindo as regras da física clássica, é de se imaginar que os algoritmos envolvidos no seu processamento haveriam de ser tenebrosamente complicados. Da complexidade emergiria a inteligência. Entretanto, é de se questionar se uma máquina determinista poderia ser chamada de “inteligente”, e este questionamento seria extensível a nossa própria inteligência como seres humanos. Para os computadores quânticos, há mais espaço

para pensar em coisas diferentes, já que as regras quânticas não são totalmente deterministas. Em particular, faz mais sentido imaginar que exista livre-arbítrio num universo quântico, que não é um universo determinista. De um determinado presente, é possível que surjam diferentes futuros, cada um com uma probabilidade.

**IHU On-Line – Qual é a importância de abordar a computação quântica no Ciclo de Estudos “Desafios da Física para o Século XXI: uma Aventura de Copérnico a Einstein”?**

**Fernando Haas** – Einstein foi um dos maiores impulsionadores da mecânica quântica, apesar de ter sido, até o final da vida, um adversário da interpretação padrão que se dá a este ramo da física. Como a computação quântica é inconcebível sem a física quântica, a escolha do assunto da computação quântica dá margem a discutirmos uma possibilidade científica e tecnológica atual aberta pelo legado einsteniano. Ao mesmo tempo, são importantes todas as oportunidades de tentar tornar acessíveis ao público em geral temas da física moderna.

**IHU On-Line – Qual é a contribuição da física quântica para as demais áreas do conhecimento humano?**

**Fernando Haas** – A física quântica (também chamada de mecânica quântica) influenciou e influencia, de modo importante, uma série de áreas do conhecimento. Na filosofia do século XX, por exemplo, é difícil ignorar as questões levantadas a partir da formulação da mecânica quântica, nos idos da década de 1920. Nesse sentido, ficou famoso o debate entre Einstein e Bohr<sup>106</sup>, este talvez o líder da chamada escola de Copenhague, a corrente majoritária entre os físicos, quando se trata de dar uma interpretação à mecânica quântica. Segundo a escola de Copenhague<sup>107</sup>, não existe uma realidade intrínseca, independente do obser-

vador. Esta visão se opõe àquela advogada por Einstein e outros, denominada visão realista, que acredita na existência de uma natureza independente de se fazer ou não experiências, buscando descobrir suas propriedades. Estas questões epistemológicas sobre a natureza do conhecimento oferecido pela física quântica não foram decididas, sendo objeto de debate atual. O próprio Einstein, apesar de suas contribuições ao desenvolvimento da mecânica quântica, acreditou até o fim da vida no advento de uma teoria mais geral, livre das dificuldades de interpretação da mecânica quântica. Por outro lado, nas áreas mais tecnológicas, a mecânica quântica tem também um papel fundamental. Estima-se que 30% do PIB mundial dependem de fenômenos que só podem ser devidamente explicados pela física quântica. O computador, por exemplo, só pôde evoluir da formulação teórica de Alan Turing<sup>108</sup> para a máquina real que conhecemos, após a invenção do transistor. O transistor, como uma série de dispositivos eletrônicos, se apóia na física dos semicondutores, a qual só pode ser propriamente entendida por meio de princípios quânticos. Nesse mesmo caminho, a crescente miniaturização dos dispositivos eletrônicos exige, cada vez mais, a aplicação de princípios quânticos, quando se trata de incrementar a capacidade de processamento dos computadores. Isso sem contar com o novo paradigma da computação quântica, que pode levar a uma nova revolução na informática, caso possa ser implementado na prática, e não apenas na teoria. Não podemos também esquecer as aplicações da física quântica na geração de energia, já que uma parcela significativa da energia elétrica mundial provém de reatores à base de fissão nuclear, um processo descrito pela física nuclear, que é um capítulo da física quântica. Na mesma linha, a pesquisa sobre reatores nucleares, a fusão, tida por muitos como a saída para a crise do fim dos combustíveis fósseis, exige o domínio da física

<sup>106</sup> Refere-se ao debate entre Albert Einstein e Niels Bohr, relativamente ao indeterminismo ontológico sugerido pela mecânica quântica (Nota da *IHU On-Line*).

<sup>107</sup> A Escola de Copenhague reuniu os principais formuladores da mecânica quântica (Nota da *IHU On-Line*).

<sup>108</sup> Alan Mathison Turing (1912-1954), matemático inglês. Idealizou a “máquina de Turing”, antecessora dos computadores, capaz de calcular qualquer função matemática mediante um determinado conjunto de instruções (Nota da *IHU On-Line*).

quântica. Do ponto de vista indubitavelmente negativo, há que se lembrar que as armas nucleares, quer se queira admitir, quer não, só puderam ser desenvolvidas a partir da física nuclear, um setor da física quântica. No âmbito da física, a cosmologia, a física das partículas elementares, as teorias de grande unificação, são todas pensadas atualmente no paradigma da mecânica quântica, ou seja, as áreas mais nobres da física, que buscam nos dar respostas sobre a natureza última do universo, estão apoiadas na física quântica.

**IHU On-Line – A aplicação dos conceitos quânticos nessas áreas está consolidada?**

**Fernando Haas** – Sobre as aplicações da mecânica quântica estarem consolidadas, a resposta é não, já que, diariamente, surgem novas e instigantes possibilidades nesse sentido. Por exemplo, temos, hoje, o desenvolvimento dos nanomateriais, ou seja, dispositivos microscópicos (da escala atômica), criados para tarefas específicas como fazer o papel de transistores. Há também uma série de conjecturas sobre o papel da física quântica na emergência do que chamamos “consciência”. Nessa linha, antigas questões como a existência ou não de livre-arbítrio podem ser examinadas sob uma nova luz, a luz da física quântica. Temos também, finalmente, muitas questões físico-filosóficas que ainda demandam exame, sobre a interpretação da mecânica quântica ou sobre a transição do mundo do muito pequeno para o mundo macroscópico, onde os fenômenos quânticos frequentemente são desprezíveis.

**IHU On-Line – Quais são os principais debates e pesquisas, envolvendo a física atualmente? Eles são tributários diretos das descobertas de Einstein?**

**Fernando Haas** – Provavelmente, a resposta a esta pergunta varia tremendamente, dependendo de quem está sendo entrevistado. Na minha opinião, temos duas frentes principais. Uma delas se refere à física dos sistemas complexos, que se relaciona com a aplicação da física aos fenômenos da vida, da biologia. Estamos apenas iniciando nesta

questão fundamental que é entender a biologia em termos de modelos físico-matemáticos mais profundos. Por outro lado, no mundo das partículas subatômicas, teremos, nos próximos anos, o funcionamento de um novo acelerador de partículas, o *Large Hadron Collider* (LHC), que nos permitirá acessar a novas escalas de energia, o que admitirá testar devidamente a teoria atualmente aceita sobre as forças da natureza, baseada no conceito de supersimetria. Eventualmente, novos fenômenos poderão ser observados. A supersimetria, como o nome diz, envolve um princípio de simetria, de invariância. A idéia de que por trás da aparente desordem do mundo deve existir um princípio matemático unificador, de simetria, remonta a Platão. Mais recentemente, Einstein, com a sua teoria da relatividade especial, foi o grande responsável pela importância dos princípios de simetria na física. Mais exatamente, na teoria da relatividade geral, não há um observador privilegiado no mundo, o que é um tipo de princípio de simetria. Todos os sistemas de referência são igualmente aceitáveis, qualquer que seja seu tipo de movimento. Portanto, sem Einstein possivelmente não teríamos a supersimetria nem qualquer das teorias em voga na física das partículas subatômicas. Para completar, Einstein contribuiu decisivamente no desenvolvimento da mecânica quântica, subjacente a todas estas questões.

**IHU On-Line – Persiste como amplamente válida a estrutura causal do mundo, revelada pelo exame da propagação da luz realizado por Einstein?**

**Fernando Haas** – Que eu saiba, não há contestação experimental à teoria da relatividade. Além disso, o princípio de causalidade, ou seja, de que as causas precedem os efeitos, permanece aceito. Nesse sentido, a existência de uma velocidade limite, a velocidade da luz, impõe restrições, já que a ocorrência de dado “efeito” num dado ponto do espaço só pode ocorrer após um certo tempo, determinado pela distância até a “causa” e a velocidade da luz. Existem certas situações admissíveis na mecânica quântica, como no experimento

Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)<sup>109</sup>, em que há aparente violação do princípio da causalidade. Entretanto, segundo a visão majoritariamente aceita, esta violação é apenas aparente, não havendo propagação de informação a uma velocidade que exceda a da luz.

**IHU On-Line – Como a física quântica se relaciona com a teoria dos sistemas e a teoria do caos? Quais as decorrências práticas desse diálogo?**

**Fernando Haas** – Confesso que não sou o personagem mais apto a falar sobre a Teoria dos Sistemas, que conheço apenas superficialmente. Acredito, porém, no poder de fogo dos princípios de simetria, tão caros à mecânica quântica e certamente úteis também no caso da Teoria dos Sistemas. Quanto à Teoria do Caos, existe o chamado caos quântico, que se manifesta por uma distribuição desorganizada dos níveis de energia no caso de sistemas cujo limite clássico é caótico. Trata-se, porém, de um caos menos bombástico do que o caos evidenciado nos sistemas clássicos. Tudo devido à estrutura matemática linear da mecânica quântica, que, neste pormenor, é muito mais “bem comportada” do que a mecânica clássica. Provavelmente é dos únicos aspectos em que o mundo quântico é mais habitável do que o mundo clássico.

**IHU On-Line – Como o senhor avalia o estágio do ensino e da pesquisa da física no Brasil? Nesse cenário, qual é a posição da Unisinos?**

**Fernando Haas** – A física brasileira vive uma situação paradoxal. Por um lado, temos uma produção acadêmica qualificada, com boa inserção e reconhecimento internacionais. Por outro lado, não temos, no momento, uma geração de pesquisadores de destaque do nível da geração de um César Lattes<sup>110</sup>, por exemplo. Temos, também, por incrível que pareça, uma legião de jovens doutores e pós-doutores, que não conseguem posição no meio acadêmico, sendo obrigados frequentemente a executar malabarismos para sobreviver. O que fazer com estes jovens doutores e pós-doutores, como fazer para não jogar pelo ralo o seu investimento pessoal e o investimento estatal na forma de bolsas que foram dadas a eles, é a questão humana mais premente que vejo no momento. Diferentemente da época da corrida armamentista, na qual, por óbvias e nada nobres razões, se reconhecia, de imediato, a sua importância, hoje, é necessário convencer a sociedade da relevância da física. Nós, físicos, pelo jeito não somos muito bons em promoção pessoal ou da área. Quanto à Unisinos, no momento, é modesta a pesquisa em física na Universidade, com apenas alguns projetos de pesquisa em andamento e sem pós-graduação na área. Acredito, porém, que a Universidade esteja pronta a incentivar novas propostas de qualidade no setor.

<sup>109</sup> A sigla EPR designa os autores (Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen (os dois últimos são físicos norte-americanos) de um experimento destinado a demonstrar a incompletude da mecânica quântica. Insere-se no debate Einstein-Bohr, antes mencionado (Nota da *IHU On-Line*).

<sup>110</sup> Físico brasileiro, de nome Cesare Mansueto Giulio Lattes. Nascido em 1924, faleceu em 08-03-2005. Sobre ele, *IHU On-Line* publicou na sua 132ª edição, de 14-03-2005, os textos “César Lattes – 1924/2005”; “Físico César Lattes morre aos 80 anos” e “César Lattes, herói da física nacional”. (Nota da *IHU On-Line*).