

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA
ANO 65 - NÚMERO 4 - OUTUBRO/NOVEMBRO/DEZEMBRO DE 2013

Ciência & Cultura

Temas e Tendências

EMERG

ENCIA

3 EDITORIAL

4 TENDÊNCIAS

SATÉLITE BRASILEIRO
GEOESTACIONÁRIO DE DEFESA
E COMUNICAÇÕES
Waldo Russo

BRASIL

- 6 LEIS QUE ENGESSAM
PESQUISA PODEM SER
ALTERADAS NESTE ANO
- 8 A VIDA DE PESQUISADORES
BRASILEIROS FORA DO PAÍS
- 10 ACELERADOR SIRIUS:
GOVERNO INVESTE EM
TECNOLOGIA DE PONTA
- 12 REDES SOCIAIS
FEDERADAS PROMETEM
MAIS AUTONOMIA

MUNDO

- 14 PROCESSOS ABERTOS
NA PRÁTICA CIENTÍFICA
- 16 NOVA EDIÇÃO DE MANUAL
AUMENTA NÚMERO DE
TRANSTORNOS MENTAIS
- 18 PROJETO TRANSFORMA O
OLHAR E A PARTICIPAÇÃO
DE JOVENS



Jovens devem ser ouvidos

NÚCLEO TEMÁTICO: EMERGÊNCIA

ARTIGOS



20
Apresentação
**Emergência, um
novo paradigma
indispensável para as
ciências e a filosofia?**

Rémy Lestienne

22
**Emergência e redução:
uma introdução
histórica e filosófica**

Osvaldo Pessoa Jr.

26
**Genômica e
modularidade
morfológica: como
genes espectadores,
sintenia genômica e
arrastamento
constroem e**

**restringem opções
evolutivas emergentes**

Michael Crawford

32
**A emergência na
física da matéria
condensada e as
quebras espontâneas
de simetria**

Eduardo Miranda

36
**O papel da emergência
em simulações
de sociedades de
agentes artificiais**

Nuno David, Jaime Simão Sichman

41
**A biologia de síntese
e o problema da
emergência da vida**

Entrevista com Mark Bedau

47
**A emergência, uma
solução ao problema
mente-cérebro?**

Rémy Lestienne

PESQUISAS 51

A & E

- 54 **AValiação, comunicação
e percepção de riscos
associados a desastres
naturais: uma contribuição
aos estudos ambientais**
Gabriela Marques Di Giulio
Bernardino Ribeiro Figueiredo
Lúcia da Costa Ferreira

CULTURA

Instituto Tomie Ohtake



Escultura (2008) Aeroporto
Internacional de Guarulhos

- 58 **OS 100 ANOS DE
TOMIE OHTAKE**
Precisão e força dos
gestos delicados
sobressaem-se nas
imagens criadas pela artista
- 59 **CONSUMO CULTURAL**
Artesanato pan-étnico
atende demanda por
produtos exóticos
- 62 **LITERATURA INFANTIL**
Autores aproximam fauna
brasileira de crianças
- 63 **HISTÓRIA E ARTE**
A São Paulo do cinema:
moderna e pós
- 66 **PROSA**
MARCELO MORESCHI
- 68 **POESIA**
MARCUS FABIANO GONÇALVES

E X P E D I E N T E

Ciência&Cultura
<http://cienciaecultura.bvs.br>

CONSELHO EDITORIAL

Ana Maria Fernandes, André Tosi Furtado, Carlos Vogt, Celso Pinto de Melo, Dora Fix Ventura,
Francisco Cesar de Sá Barreto, Gilberto Cardoso Alves Velho, Hernan Chaimovich Guralnik,
Ima Célia Guimarães Vieira, Isaac Roitman, João Lucas Marques Barbosa, Luiz Eugênio de Mello,
Marcelo Marcos Morales, Phillipe Navaux, Regina Pekelmann Markus

EDITOR CHEFE
Marcelo Knobel

EDITORA EXECUTIVA
Wanda Jorge

EDITORAS ASSISTENTES
Germana Barata, Patrícia Mariuzzo

EQUIPE DE REPORTAGEM
Alfredo Suppia, Carolina Cantarino, Carolina
Mendes Bento Ferreira, Grazielle Scalfi, Maria Marta
Avancini, Marcela Salazar Granada,
Marina Gomes, Sarah Costa Schmidt,
Véronique Hourcade, Victória Flório

CAPA
João Baptista da Costa Aguiar

DIAGRAMAÇÃO
Carla Castilho | Estúdio
Luis Paulo Silva (tratamento de imagens)

REVISÃO
Daisy Silva de Lara

CONSULTORES
Literatura
Alcir Pécora, Carlos Vogt
Paulo Franchetti

CONTATOS
Redação: cienciaecultura@sbpcnet.org.br

DIRETORIA DA SBPC

PRESIDENTE
Helena Bonciani Nader

VICE-PRESIDENTES
Ennio Candotti
Dora Fix Ventura

SECRETÁRIO-GERAL
Aldo Malavasi

SECRETÁRIOS
Edna Maria Ramos de Castro
Regina Pekelmann Markus
Marcelo Marcos Morales

PRIMEIRO TESOUREIRO
Walter Colli

SEGUNDO TESOUREIRO
José Antonio Aleixo da Silva

Revista *Ciência e Cultura*
ISSN 0009-6725

A etimologia da palavra emergência é do latim *emergere* que significa “trazer à luz”, subir à superfície. O Núcleo Temático desta edição de *Ciência & Cultura* trata da emergência de novidades na natureza e também de questões desafiadoras como as que estudam os motivos e condições do surgimento de uma nova espécie, de um produto ou propriedade inovadores ou, ainda, de uma substância inédita. Rémy Lestienne, diretor do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França (CNRS), coordena seis artigos que perpassam a complexa e fascinante multidisciplinaridade por dentro da emergência.

A necessidade de autorregulação e controle das comunicações é o tema da seção “Tendências”, que trata dos investimentos no Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações, o primeiro genuinamente brasileiro. Este tema se relaciona diretamente com o que é abordado em matéria da seção “Brasil” que mostra a proposta de criação de redes sociais federativas, que começam a ser adotadas por universidades públicas nacionais em busca de controle e autonomia nas políticas de privacidade. A autonomia também é abordada na matéria sobre a burocratização da ciência no país, que trava o desenvolvimento de pesquisas. Menos barreiras para o desenvolvimento da ciência aparece em matéria da seção “Mundo”, que faz considerações sobre os esforços em direção a uma maior abertura para as contribuições intelectuais.

Celebrando os 100 anos de Tomie Othake, uma das artistas plásticas mais influentes do país, a seção “Cultura” mostra ainda um interessante fenômeno do mundo globalizado, retratado em reportagem sobre o artesanato comercializado em Bali. Boa leitura!

MARCELO KNOBEL
Outubro de 2013

SATÉLITE BRASILEIRO GEOESTACIONÁRIO DE DEFESA E COMUNICAÇÕES

Waldo Russo

Em uma época agitada pelo vazamento de informações sobre os programas de vigilância da NSA, a agência de segurança nacional dos EUA, o fato de que todos os satélites de comunicações atualmente operando no Brasil serem controlados por empresas estrangeiras, gera preocupação quanto ao risco à segurança nacional. É importante destacar que o risco não é exatamente a captura de informações sigilosas hoje trafegando nos satélites estrangeiros. A segurança das comunicações sensíveis do governo brasileiro está garantida por criptografia avançada nas informações veiculadas pelos satélites (ou seja, são “embaralhadas” através da aplicação de códigos somente conhecidos por quem transmite e por quem recebe). Cabe frisar que este tipo de criptografia é necessário para comunicações seguras, porém não suficiente em si mesmo. Deve-se considerar que existe possibilidade de ataques a qualquer tipo de criptografia, por mais sofisticado que seja o algoritmo criptográfico utilizado, sendo imperioso procedimentos de segurança bem definidos, tais como a correta criação, proteção e troca periódica de chaves, entre outros.

Porém, é praticamente impossível impedir que, em caso de conflito, um

país ou uma empresa torne inoperante o satélite que controla. Assim, mesmo levando em conta que a estação de controle de qualquer satélite “brasileiro” está em território nacional, existe um risco inerente no conhecimento, por estrangeiros, dos códigos de controle desses satélites.

Por si só essa situação justificaria o controle de um satélite pelo Estado brasileiro, principalmente para as aplicações de defesa. Mas existem várias outras motivações e justificativas. A primeira questão, básica – porque investir em um satélite? – é a mais fácil de justificar. Com uma população de 201 milhões de pessoas em um território ocupando uma área de 8,5 milhões Km², com 15.700 km de fronteiras com dez países, 8.000 km de costa oceânica e 4.450.000 Km² de plataforma continental marítima, não há outro sistema de telecomunicações capaz de prover conexões rápidas, confiáveis, fixas ou móveis, de alta capacidade e custo independente de distância, em uma geografia tão ampla.

Outra questão bastante relevante está associada ao acesso à tecnologia espacial, tópico em que o Brasil está bastante atrasado quando comparado a outras nações em condições geo-sócio-políticas semelhantes. Existem apenas

cinco nações em todo o mundo que possuem, ao mesmo tempo, população superior a 100 milhões de pessoas, economia (PIB) superior a 750 bilhões de dólares, e área territorial superior a três milhões de Km². São elas, Brasil, Estados Unidos, China, Índia e Rússia. Desse grupo, o Brasil é o único que não possui satélite de comunicações próprio, não tem veículo lançador de alta capacidade, nem tecnologia para projeto e produção de satélites geoestacionários de comunicações.

Esta situação, no entanto, está mudando: em agosto de 2013, a Visiona Tecnologia Espacial S.A comunicou a escolha da empresa europeia Thales Alenia Space para o fornecimento do Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC) do governo brasileiro, a ser lançado em 2016 pela Arianespace. A Visiona, uma joint-venture entre a Embraer (51%) e a Telebrás (49%), irá atuar como integradora do sistema e principal contratada para o fornecimento dos vários elementos do sistema de comunicações via satélite pretendido.

O SGDC será um satélite multimirimissão, com duas aplicações básicas: defesa, empregando equipamentos na banda X (7 a 8 GHz), e suporte a comunicações civis na banda Ka (20 a 30 GHz).

A missão de defesa na banda X engloba três cenários distintos, que requerem diferentes áreas de cobertura e capacidades: a) uma cobertura regional, abrangendo as Américas do Sul e Central, o Caribe, costa leste norte-americana, costa oriental da África e grande parte do Oceano Atlântico; b) cobertura nacional, sobre todo o território brasileiro e; c) cobertura gerada por um feixe móvel, capaz de gerar uma área de cobertura estreita (40 a 50.000 Km²), em qualquer ponto do globo terrestre visível pelo satélite em sua posição orbital.

Já o serviço de comunicações de dados de alta capacidade na banda Ka deverá ser fornecido através de 40 a 60 áreas de cobertura estreita (150 a 600 mil km²), distribuídas sobre o Brasil continental. Em cada uma dessas áreas, terminais de usuários, de pequeno porte e baixo custo, serão conectados a um número limitado de estações de grande porte (6 a 10 estações), denominadas estações de coleta ou gateway. Cada gateway está associado a um grupo diferente de 6 a 8 áreas de cobertura estreita, e são conectados por redes terrestres de alta capacidade à estrutura nacional de telecomunicações. A capacidade total de transmissão de dados do satélite será de 50 a 60 Gbps (50 a 60 bilhões de bits por segundo). A principal aplicação do sistema na banda Ka é apoiar o Plano Nacional de Banda Larga do Brasil (PNBL) da Telebrás, com o objetivo de fornecer serviços de banda larga à população carente nas áreas rurais e subúrbanas em todo o território brasileiro.

O programa inclui ainda a implantação de estações de controle do satélite e do

sistema de comunicações, principal e reserva, situadas em Brasília e no Rio de Janeiro. A operação do satélite estará a cargo da Telebras (parte civil) e do Ministério da Defesa (parte militar).

A um custo previsto hoje de R\$1,5 bilhão é natural que um programa dessa magnitude provoque discussões, ainda mais levando em consideração a existência de mais de 40 satélites de telecomunicações autorizados a operar no território nacional.

No entanto todos esses satélites são hoje controlados por empresas estrangeiras, o que, do ponto de vista de segurança nacional, apresenta um risco a ser considerado.

Um programa como o SGDC é, portanto, bem vindo, principalmente com os condicionantes específicos previstos no contrato de fornecimento: i) estímulo ao emprego de conteúdo brasileiro em partes ou serviços; ii) programa de transferência de tecnologia, a ser validado pela Agência Espacial Brasileira (AEB).

Dessa forma, bem conduzido, o programa pode ajudar o Brasil a avançar nessa tecnologia, a qual possui um valor agregado imenso: as áreas associadas a atividades espaciais movimentam globalmente mais de US\$300 bilhões por ano. Pode-se, portanto, afirmar que o programa SGDC é importante para o país, tanto do ponto de vista estratégico como social. No primeiro caso, envolvendo progressos nas áreas de defesa, segurança, domínio de tecnologia de ponta. No segundo, viabilizando ampliação dos benefícios do PNBL, com maior integração da população brasileira, através do provimento de acesso de qualidade a informações e comunicações.

O programa, no entanto, apresenta alguns riscos a serem mitigados. O principal vem a ser o uso da banda Ka, ainda insipiente no Brasil. O primeiro satélite a utilizar esta banda na América Latina é o Amazonas 3, lançado apenas este ano com nove feixes Ka. Ou seja, como não há dados experimentais significativos de propagação na banda Ka no Brasil, há uma incerteza quanto à qualidade possível nas transmissões do SGDC nessa faixa.

O segundo risco aos objetivos do programa refere-se à imperiosa necessidade de continuidade dos investimentos no desenvolvimento de tecnologia espacial no Brasil. A história recente de cortes e limitações de recursos para o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) tem obrigado a AEB, responsável pela coordenação do programa, a constantes reajustes e adaptações que limitam os resultados alcançados.

Concluindo, o programa SGDC, com planos para lançamento de um segundo satélite em 2021 (cinco anos após o primeiro lançamento), tem tudo para representar um significativo impulso qualitativo nas atividades espaciais no Brasil, estimulando a indústria espacial local a ocupar um lugar compatível com o potencial tecnológico e criativo que o país possui.

Waldo Russo é graduado e pós-graduado em engenharia de telecomunicações pela PUC-RJ, com mestrado no IME. É consultor em sistemas de telecomunicações pela Union Engenharia de Telemática, empresa associada ao Centro de Estudos em Telecomunicações (Cetuc) da PUC-RJ. É o atual presidente do capítulo da Communications Society do IEEE no RJ.



POLÍTICA DE C&T

Leis que engessam pesquisa no país podem ser alteradas ainda este ano

Até dezembro devem ser votadas uma série de medidas com o objetivo de destravar os processos de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) e tornar o país mais competitivo. A ideia inicial era criar o Código Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, o Projeto de Lei 2.177/2011, que alteraria partes de várias leis que travam os pesquisadores, como a concessão de visto temporário a estrangeiros que queiram fazer pesquisa no Brasil (Lei 6.815) e receita do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT; 11.540). Também revogaria a Lei de Inovação (10.973) e importações de bens destinados à pesquisa (8.010); e afetaria, entre outras, a Lei de Licitações (8.666), a Lei do Bem (11.196) e a Lei de Acesso à Biodiversidade (11.105). No entanto, para reduzir a rigidez e permitir que os vários subtemas fossem melhor trabalhados, a relatoria da Comissão Especial da Câmara dos Deputados propôs desmembrar o Código em uma Proposta de Emenda Constitucional (PEC), um Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC), uma legislação específica de Acesso à Biodiversidade e um projeto de lei que

incorporasse itens do PL 2.177, Lei de Inovação e outras similares. A intenção é tocar em pontos cruciais para pesquisadores. “Por que o Brasil tem um regime diferenciado de contratações para obras da Copa do Mundo, mas engessa a pesquisa científica? Se o país chegou à conclusão de que a Lei 8.666 não servia para a realização da Copa do Mundo e das Olimpíadas, e fez o RDC para estes eventos, por que não para as universidades?”, questionou a presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Helena Nader, na audiência pública da comissão especial que analisou a proposta do Código, em maio deste ano (em matéria publicada em maio no JC 4732). Uma das mudanças mais aguardadas é a flexibilização da questão de compras e contratações, com a retirada da obrigatoriedade da aplicação da Lei das Licitações (8.666/1993) às atividades de CT&I, que indica que o critério das aquisições seja sempre o menor preço, o que muitas vezes compromete a qualidade da pesquisa, que deve ter insumos adequados



Antonio Perri/Ascom/Unicamp

Trabalho experimental requer agilidade

e equipamentos específicos. Nesse sentido, também aparece como entrave a Lei de Importação, que prejudica quem depende de material específico fabricado no exterior.

IMPORTAÇÕES Uma pesquisa conduzida desde 2004 pelo Laboratório Nacional de Células Tronco Embrionárias (LaNCE), do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mostra o impacto da dificuldade de importação sobre o progresso da ciência brasileira. Os resultados de 2010 apontados por trabalho deram base a um Projeto de Lei do deputado Romário (PSB-RJ) que aguarda deliberação na Comissão de Seguridade Social e Família (CSSF). Uma das propostas é que se faça um cadastro nacional dos pesquisadores que teriam liberação imediata dos materiais da



pesquisa. Ele passaria a ter responsabilidade sobre os produtos adquiridos e pelos possíveis danos à saúde individual ou coletiva e ao meio ambiente decorrentes de alteração da finalidade declarada para o ingresso do material.

Extravios, alto custo de transporte e tempo de liberação dificultam a aquisição de substâncias controladas – como solventes, reagentes e medicamentos – e interrompem trabalhos. Para Daniel Veloso Cadilhe, pesquisador do LaNCE, para importar células ou animais é preciso sorte. “Quando as células são liberadas, vêm invariavelmente descongeladas e, portanto, mortas. Certa vez importamos uma carga perecível e esta ficou embargada por dois meses. Perdemos R\$ 30 mil. É dinheiro público gasto em vão que poderia ser revertido em avanço científico”, lamenta.

PRESTAÇÃO DE CONTAS Havendo mudança nas legislação, deve mudar também a prestação de contas, pois os Tribunais de Contas, responsáveis pela fiscalização da aplicação dos recursos públicos, realizam mais comumente a auditoria baseada na verificação de cumprimento de leis (e não nos resultados da gestão). Em sua tese de doutorado, recentemente defendida no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Maristella Barros Ferreira de Freitas, apontou a existência de um ambiente de inse-

gurança na gestão de CT&I, causada pelas imperfeições e a rigidez das legislações, que afeta todo o processo científico e tecnológico.

Além das imprecisões e obscuridades das legislações específicas (que resultam em divergência de interpretações), outro agravante é o fato de o instrumento utilizado para fiscalização pelos Tribunais de Contas ser a auditoria de conformidade – também conhecida como auditoria de regularidade. Esse tipo de controle prioriza a verificação do cumprimento de disposições legais em detrimento da avaliação de resultados.

O julgamento resulta em determinações de natureza punitiva. São as medidas cautelares (afastamento temporário do responsável, indisponibilidade ou arresto de bens e suspensão de ato ou procedimento) e sancionadoras (aplicação de multas, ressarcimento de valores e inabilitação do responsável por um período de 5 a 8 anos para o exercício de cargo em comissão ou função de confiança na administração pública). “Diante de perspectivas tão ameaçadoras, é natural o sentimento de medo e insegurança dos pesquisadores e gestores públicos. Nesse cenário, assumir um cargo público nessa área ou gerenciar recursos públicos para P&D passou a ser uma tarefa de risco pessoal”, aponta Freitas.

Nem sempre as exigências legais se aplicam à realidade do ambiente de CT&I. É o caso de contratação tem-

porária de pesquisadores sem concurso público. “Criar mecanismos de identificação de pontos fracos e de pontos fortes na gestão das atividades de CT&I e P&D, apontariam para soluções de controle mais eficientes para atingir o almejado desenvolvimento científico e capacitação tecnológica”, afirma a pesquisadora.

MODELOS Um bom exemplo, segundo ela, é o que fazem o GAO (Escritório de Contabilidade do Governo) e o NAO (Escritório Nacional e Auditoria), entidades fiscalizadoras dos Estados Unidos e do Reino Unido, respectivamente. Nesses países a fiscalização da aplicação de recursos públicos se dá mediante *performance auditing*, que nos Tribunais de Contas do Brasil é chamado auditoria operacional. Essa auditoria tem mais flexibilidade na escolha dos objetos e na forma de comunicar suas conclusões. Baseada em normas internacionais, requer do auditor flexibilidade, imaginação e capacidade analítica. Assim, mesmo com mudanças no marco legal da pesquisa científica no Brasil, seria adequado que a auditoria de conformidade fosse utilizada apenas na fiscalização das áreas “meio” (apoio administrativo, infraestrutura, previdência de inativos, amortização e encargos da dívida interna, cumprimento de sentenças judiciais).

Marina Gomes

CIENTISTAS NÔMADES

A vida de pesquisadores brasileiros fora do país

O desejo de ampliar horizontes e trabalhar em laboratórios de ponta em outro país são alguns dos motivos que, em 2012, levaram 11,5 mil pesquisadores a deixarem o Brasil, rumo a universidades estrangeiras, segundo a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). O programa Ciência sem Fronteiras, por sua vez, enviou quase seis mil bolsistas para realizar estudos no exterior desde dezembro de 2011.

Esforço, organização e flexibilidade são elementos indispensáveis para aqueles pesquisadores brasileiros que optaram por viver definitivamente ou passar longos períodos no exterior.

A economista Ionara Costa ilustra o que pode ser considerado uma trajetória bem-sucedida no exterior. Mestre e doutora em política científica e tecnológica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Ionara mora e trabalha na Europa desde 2004. Atualmente, ela está desenvolvendo uma pesquisa sobre o fluxo de conhecimento nas subsidiárias de multinacionais latino-americanas, com financiamento do programa



Ionara Costa, a esquerda, em Maastricht, Holanda

Marie Curie Fellow da Research Executive Agency, da Comissão Europeia. O estudo é feito no Centre of Research in Innovation Management (Centrim), ligado à Universidade de Brighton, na Inglaterra.

Ionara mora na fronteira entre Bélgica e Holanda desde 2004, quando foi contratada como pesquisadora pelo Instituto da Universidade das Nações Unidas de Pesquisa Econômica e Social em Inovação e Tecnologia (UNU-Merit), em Maastricht, na Holanda, onde trabalhou até 2008. Na época, ela já havia concluído o doutorado e estava tentando, sem sucesso, concursos em universidades

públicas brasileiras, quando ficou sabendo da seleção no UNU-Merit. “Eu me candidatei em março e no mês seguinte me chamaram para a seleção”, conta. A bem sucedida trajetória de Ionara envolveu, no entanto, uma série de desafios comuns a qualquer pesquisador brasileiro que decida viver no exterior: da barreira da língua à competitividade do ambiente de

trabalho, passando pela adaptação à cultura de um país estrangeiro.

BARREIRA DA LÍNGUA O domínio da língua é um fator essencial para a integração e o bom desenvolvimento da pesquisa, opina André Luiz Sica de Campos, que fez o doutorado no Science and Technology Policy Research (Spru), da Universidade de Sussex, Reino Unido, com bolsa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). “Eu já tinha um bom domínio do inglês, mas a fluência só vem com o passar dos anos”, diz o economista, que atualmente é professor de economia e gestão da Faculdade de

Ciências Aplicadas da Unicamp, em Limeira, São Paulo e Faculty Fellow da Brighton Business School, da Universidade de Brighton, Inglaterra.

Para Ionara, a dificuldade de se comunicar em inglês gera um acanhamento entre os brasileiros no exterior. “No Brasil, somos pouco expostos ao inglês, tudo é traduzido”. Esse comportamento tende a nos colocar em desvantagem em ambientes acadêmicos altamente competitivos e intensamente internacionalizados. “Os indianos são muito agressivos e competitivos. Já os chineses não falam tão bem o inglês, mas acreditam que se expressam bem e não são tímidos”, relata a pesquisadora.

BARREIRAS CULTURAIS As diferenças culturais também pesam, pondera Katlin Brauer Massirer, que fez doutorado em genética, biologia celular e molecular e bioinformática, na Universidade da Califórnia, em San Diego, Estados Unidos. “A estrutura é excelente em termos de orientação e apoio em questões práticas, como conseguir uma carteira de motorista ou declarar imposto de renda. Mas no Brasil o ambiente é mais caloroso, a ajuda também é emocional”, diz. O ritmo de trabalho costuma ser diferente do que os brasileiros estão acostumados, o que pode

gerar frustração. “É tudo muito prático. Os professores recebem bem, mas uma vez que você entra num grupo, tem que se virar. Não é como aqui, que tem alguém que pega na sua mão e mostra como fazer o experimento”, conta Katlin. “A postura é: os materiais estão aqui, os reagentes são esses. Leia os artigos e faça”, continua a pesquisadora que retornou ao Brasil em janeiro de 2012. Em um ambiente com pesquisadores de várias partes do mundo querendo ser os melhores, a concorrência é intensa. “Soma-se a isso a pressão, cada vez maior, para publicar artigos, sempre em revistas científicas com alto grau de impacto”, relembra Ionara.

VANTAGENS Os desafios e dificuldades são compensados pelos inegáveis ganhos no campo profissional, propiciados por um ambiente altamente profissionalizado. Katlin conta que, no primeiro ano de doutorado, todos os alunos passam seis semanas em laboratórios diferentes, com objetivo de conhecer a universidade. “É um sistema menos engessado do que o do Brasil, onde o doutorando, em geral, tem de ingressar no programa com o tema de pesquisa já definido”. A rede de relacionamento que se estabelece nesses centros de pesquisa também é decisiva

para a carreira do pesquisador. Isso pode fazer a diferença em situações delicadas como quando o período da bolsa termina, mas o pesquisador precisa permanecer no exterior para concluir seu trabalho. Foi o que aconteceu com André Campos: a bolsa terminou e ele negociou com o CNPq sua permanência no Reino Unido para finalizar a pesquisa. Mas teve que encontrar trabalho para se sustentar. “Conseguí ingressar num projeto na Universidade de Londres e dividia a semana entre o doutorado e o trabalho”, conta ele.

VOLTANDO PARA CASA Para esses pesquisadores nômades a volta para casa pode significar um recomeço em todos os sentidos. Foi o que ocorreu com Katlin que, em virtude da legislação brasileira, não pode trazer consigo reagentes, animais transgênicos e vetores que desenvolveu durante os anos de pesquisa nos Estados Unidos. Arcando com os custos do transporte, ela trouxe só uma pequena parte do que produziu fora do país. Com eles ela está produzindo, novamente, no Centro de Biologia Molecular e Engenharia Genética (CBMEG), na Unicamp, onde trabalha atualmente, os materiais que necessita para suas pesquisas.

Maria Marta Avancini



CIÊNCIA E TECNOLOGIA

O acelerador Sirius: governo investe em tecnologia de ponta

Localizada na cidade de Campinas, está a única fonte de luz síncrotron da América do Sul. O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) funciona como um laboratório multiusuário, de portas abertas à comunidade acadêmica e empresarial do Brasil e do exterior. Ele opera sob a gestão do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). Há alguns anos, o LNLS tem trabalhado no projeto de uma fonte de radiação síncrotron de terceira geração, o Sirius. Ele será construído ao lado do LNLS. A previsão de inauguração é para 2016. O novo acelerador síncrotron Sirius é apontado como um dos maiores projetos da ciência brasileira. Mas vale a pena investir nesse projeto em tempos de crise para laboratórios fora do país? De acordo com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (Encti), plano de ação publicado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em 2011, “o número de usuários de luz síncrotron nas fontes mantidas pelo DOE (Department of Energy), dos Estados Unidos, cresceu 40%, no ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), o aumento foi de 30% entre 2003 e 2008.

No Brasil, esse aumento foi ainda maior: entre 1997, quando a fonte entrou em operação, e 2009, o número de usuário saltou de 229 para 2320, algo em torno de 800%”. A iniciativa de construir o Sirius, apoiada pelo MCTI, tem o intuito de fornecer à comunidade científica e tecnológica uma ferramenta para manter a competitividade brasileira em áreas estratégicas, como nanotecnologia, biotecnologia e materiais avançados.

OUTROS ACELERADORES NO MUNDO

Existem cerca de 50 fontes de luz síncrotron no mundo, 16 delas já são de terceira geração. Países como a Índia, China e Rússia, economicamente importantes para o Brasil, e também o Irã, possuem ou estão investindo em aceleradores síncrotron com uma potência maior que a do LNLS.

Ao mesmo tempo, alguns aceleradores estão em crise. Em setembro de 2011, o laboratório norte-americano Fermilab encerrou as atividades com o acelerador Tevatron – o maior colisor próton-antipróton do mundo – por conta de dificuldades para obter financiamento. Na época em que foi construído, o Tevatron teve um custo de US\$ 120 milhões (265 milhões atualmente).

Em alguns aceleradores de partículas promovem-se colisões para estudar o chuveiro de partículas que delas resultam. Esse é o caso do LHC (sigla para Large Hadron Collider),

o maior acelerador de partículas do mundo, que fica no laboratório Cern, em Genebra, Suíça. Os aceleradores síncrotron são um tipo de acelerador de partículas em que há um campo magnético que orienta o feixe de partículas dentro de um circuito fechado. Uma fonte de luz síncrotron é uma combinação de diferentes tipos de aceleradores de elétrons, incluindo um anel de armazenamento no qual a radiação eletromagnética é gerada. A radiação é então usada em várias estações experimentais localizadas em diferentes linhas de luz.

LNLS VERSUS SIRIUS Mas em que o Sirius difere do LNLS? Basicamente, a energia do feixe de elétrons do Sirius será maior, comparável a outros grandes aceleradores síncrotron no mundo. Enquanto o LNLS tem uma energia de feixe de 1.37 GeV, baixo brilho e um anel cujo diâmetro é de 93.2 m, o Sirius terá três GeV, com alto brilho e um diâmetro de 518.2 m. E o que isso significa na prática para os pesquisadores brasileiros? Para o professor da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Lucas Bleicher, que está, atualmente, desenvolvendo seu trabalho em cristalografia de proteínas, fora do país, o Sirius vai diminuir a necessidade de fazer medidas no exterior. Bleicher teve que recorrer a outros aceleradores, como o de Brookhaven, nos Estados Unidos, porque o



Localização do prédio do Sirius no campus do CNPEM, onde também estão o LNLS, o LNBio, o CTBE e o LNNano. A área total do Sirius é de 150.000 m².

LNLS não tinha resolução suficiente para seu estudo sobre a estrutura de proteínas grandes. “Pelo menos no caso da cristalografia de proteínas (que tem duas linhas dedicadas no LNLS) isso não só deve acontecer, mas deve garantir que o tempo de feixe disponível seja suficiente para atender aos pesquisadores brasileiros. Quanto mais intenso é o feixe, menor é o tempo necessário para coletar os dados e assim a linha de luz pode atender mais gente”.

A REALIDADE BRASILEIRA Na prática, conhecer a estrutura de proteínas é importante por que elas são muito usadas no desenvolvimento de novas drogas, e segundo Bleicher, boa parte das proteínas que se ligam às drogas são proteínas de membrana, que ao invés de ficarem livres na célula,

se “enterram” na membrana celular. Isso torna a produção de cristais muito mais difícil. “Como cristais de grandes complexos e de proteínas de membrana comumente são menores e menos estáveis, dificilmente poderiam ser usados para determinação de estrutura na atual configuração da nossa fonte de luz síncrotron”, diz ele. Na área de biologia estrutural, essas fontes de luz têm muitas perguntas a responder: como as células são capazes de fazer tarefas complicadas que envolvem a ação orquestrada de várias proteínas e sua interação com o DNA ou o RNA, como proteínas na membrana da célula são capazes de reconhecer sinais do exterior e transmiti-los para dentro da célula? Para Lucas Bleicher, há muitas vantagens no investimento em tecnologia de ponta para os aceleradores. Ele

destaca o caráter “democrático” dos laboratórios multiusuários como o LNLS e o Sirius: “Quase todo jovem cientista brasileiro encontra o dilema de que tipo de pesquisa vai fazer, porque nem tudo é factível levando em conta a realidade econômica brasileira. Muitos passam longos períodos no exterior, onde a realidade orçamentária é completamente diferente. Com os laboratórios multiusuários, cientistas que hoje estão em universidades com menos recursos podem fazer boa ciência utilizando equipamentos mantidos especialmente para atender pesquisadores visitantes”, finaliza.

Victória Flório

SIRIUS EM NÚMEROS

De acordo com o relatório de 2012, o orçamento total do projeto, de 2012 a 2017, ficará em R\$ 650 milhões, sendo que, no total, 65% serão destinados à construção do prédio e para a compra dos equipamentos das linhas de luz. Só no ano passado, teriam sido investidos quase R\$ 14 milhões. Ainda segundo o relatório, 29% da verba será destinada à compra de equipamento importado, enquanto que 71%, ou R\$ 461 milhões, vão para compras dentro do país.

ENSINO SUPERIOR

Redes sociais federadas prometem mais autonomia

O receio de que grandes corporações centralizadoras tenham domínio sobre os dados pessoais e profissionais de milhares de cidadãos, sobretudo as que detêm softwares como Facebook, Twitter e Google Plus, e o desejo de ter controle e autonomia sobre os programas que utilizam, fazem com que algumas instituições brasileiras se esforcem para criar suas próprias redes sociais, personalizadas e baseadas em software livre. No Brasil, a Universidade de São Paulo (USP) conta com uma rede social de colaboração com mais de 62 mil pessoas cadastradas, entre alunos, professores e funcionários, e mais de 880 comunidades.

Com a implantação dessas novas redes, “se uma plataforma qualquer deixar de existir por questões comerciais (como o Facebook), não haveria nenhum prejuízo, porque as pessoas não estariam presas a uma tecnologia externa”, explica Paulo Meirelles, professor do curso de engenharia de software da Universidade de Brasília (UnB) que faz parte da equipe que coordenou a reestruturação do projeto Stoa (<http://social.stoa.usp.br>), rede social de colaboração da USP, reinaugurada

em dezembro de 2012.

O Stoa permite que o usuário crie um perfil totalmente personalizável, em forma de *blogs* pessoais ou de disciplinas, notícias, além de compartilhar projetos de pesquisas, eventos, tudo integrado à rede e disponível para acesso para o público externo. Seus pilares são o compartilhamento, a liberdade e a horizontalidade. “Quando a pessoa se cadastra, a rede não distingue professor, aluno ou funcionário: de início, todos os perfis são iguais. Depois o usuário o personaliza como for mais conveniente”, explica Ewout ter Haar, professor do Instituto de Física da USP e um dos administradores do Stoa. Coordenador do Grupo de Apoio Técnico-Pedagógico da universidade, Haar acredita no potencial que as redes sociais têm para a educação. “É interessante observar que os grupos e comunidades são formados espontaneamente no Stoa, paralelos às estruturas administrativas da USP. Muitos professores utilizam as ferramentas disponíveis em apoio às disciplinas, alunos compartilham arquivos em seu próprio perfil e disponibilizam em grupos de estudos virtuais. Há ainda as comunidades de funcionários”, conta.

HISTÓRIA RECENTE Criada em 2007, inicialmente com base no software livre Elgg, com o passar dos

anos o Stoa acabou ficando para trás em termos de ferramentas tecnológicas para as interações e possibilidades de colaboração da web 2.0. “Não conseguimos desenvolver o sistema por questões financeiras e recursos humanos e a rede acabou estagnando”, pondera Haar. Em 2012, o projeto recebeu mais financiamento e adotou o Noosfero, plataforma brasileira para criação de redes sociais e economia solidária, desenvolvida pela Cooperativa de Tecnologias Livres (Colivre).

A escolha do Noosfero ocorreu por conta das opções de ferramentas de *blog*, portfólio, fórum, galeria de imagens e armazenamento de arquivo em um mesmo sistema. Ele já é utilizado como base para o desenvolvimento do sistema do SoftwareLivre.org e para World Museum Project, ambiente pedagógico e rede social criado para promover a interação entre professores e estudantes de mais de dez países, recentemente premiado com o Excellent Workshop Award do Canvas Workshop Collection, evento realizado em 2012 no Japão.

REDES SOCIAIS FEDERADAS O uso de uma plataforma livre permite autonomia sobre a rede, sem depender de um provedor de serviço. “Com o Noosfero, a universidade deixou de ser uma usuária de rede social para se tornar



provedora para aquela comunidade acadêmica”, explica Vicente Aguiar, gestor da Colivre.

Apesar do desejo de se conectar com outras instituições de ensino, o Stoa não tem a pretensão de ser a única rede social entre as universidades brasileiras. A expectativa é que cada uma tenha a sua, desenvolvida de acordo com suas particularidades e que essas redes possam conversar entre si. Dessa forma, seria possível criar as redes sociais federadas, que compartilham um protocolo comum e permitem que seus usuários se comuniquem sem a necessidade de efetuar um novo cadastro em outra rede. Seria como se o usuário de uma conta no Facebook pudesse mandar mensagens e interagir com outro no Orkut. Com uma identidade única, seria possível curtir postagens, compartilhar fotos, enviar mensagens, criar eventos e fazer comentários transitando essas duas redes, por exemplo. Dessa forma, as informações e dados dos usuários não ficariam monopolizados e concentrados em um único provedor de acesso, e haveria maior liberdade de escolha. Os especialistas em tecnologias livres consultados apontam que a característica de concentrar usuários vai contra o princípio da rede mundial de computadores que nasceu em um esquema de federação, descentralizado, com



Reprodução

Reprodução da rede federada da USP

diversas redes interagindo entre si. Hoje há algumas redes sociais que tentam funcionar dessa forma, como a Diáspora e pump.io. Vicente Aguiar lembra que os emails são um bom exemplo de federação. “Imagine ter que se cadastrar no Yahoo para mandar um email para um colega seu que é @yahoo? Parece loucura? É o que as redes sociais proprietárias fazem hoje e nos parece muito normal”, compara.

RUMO À CONEXÃO “Colocamos a possibilidade de fazer um projeto piloto de redes federadas entre USP e UFBA, porém, ainda não conseguimos recursos para isso do lado de cá”, diz Aguiar. Enquanto isso, o professor Paulo Meirelles, ainda ligado ao projeto do Stoa, coordena o desenvolvimento de uma rede social para a UnB, o Comunidade.Unb, também baseado em Noosfero, que está em fase de testes. Depois de implantada, o objetivo é tentar criar a federação, a interação com a rede social da USP.

O Polo Tecnológico de Itaipu (PTI) está investindo em uma rede social própria que iniciou, em 2011, um projeto com a Fundação Banco do Brasil, sobre tecnologias sociais e sua difusão, também baseado em Noosfero. “A plataforma, além da simples divulgação das tecnologias, do banco de dados da FBB, pode dar todo suporte de interação e intercâmbio entre os usuários. Adotamos a ferramenta porque acreditamos e incentivamos o uso de software livre, com o anseio de se trabalhar em rede de colaboração devido, principalmente, aos nossos contatos e ações em conjunto com os países do Mercosul, que estão apoiando a construção dessa rede”, explica a coordenadora do Centro de Referência em Tecnologia Social do PTI, Tania Rodrigues. O projeto, denominado de Rede de Tecnologias Sociais para o Mercosul, pretende lidar com assuntos relacionados às metodologias, produtos e práticas que desenvolvam e promovam a inclusão social. O objetivo é que a rede seja federada com as demais redes de universidades brasileiras, como USP e UnB. “A interação é fazer parcerias com as instituições que já utilizam o Noosfero, e uma das principais intenções é a possibilidade de integrar os cursos de ensino a distância (EAD) dentro dessas plataformas”, avalia Tania.

Sarah Costa Schmidt

MUN

CIÊNCIA ABERTA

Processos abertos na prática científica

Mais do que compartilhar. Ter acesso livre, aberto e, portanto público e participação colaborativa aberta. Essa é a base do movimento Open Science ou Ciência Aberta, um modo de fazer pesquisa que vem ganhando adeptos em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. O movimento, que surgiu oficialmente em 2009, defende que as pessoas devem ser livres para usar, reutilizar e distribuir o conhecimento científico, sem restrições legais, tecnológicas ou social. Ele incorpora noções do Open Source, que começou no fim do século XX e que lida com a abertura dos códigos dos programas de computador, e do Open Access, que visa o livre acesso a publicações e a construção colaborativa do conhecimento. Como um grupo de trabalho, o Open Science promove eventos e coordena discussões em todo mundo sobre a ciência aberta e ainda desenvolve ferramentas para cientistas e editores para ajudá-los a compartilhar dados. Ele é uma das linhas de atuação da Open Knowledge Foundation, instituição criada em 2004, no Reino Unido e que promove o conhecimento aberto na era digital.

“A ciência se faz colaborativamente. Mas, para que a colaboração possa de fato ocorrer, a condição essencial é que a informação flua livremente. Para o conhecimento poder evoluir ele precisa circular. O pesquisador deve ter o mais amplo acesso aos trabalhos de outros pesquisadores para, assim, gerar avanços para todos. É o conhecimento que gera mais conhecimento, que pode resultar em inovação”, analisa Beatriz Cintra Martins, pesquisadora do grupo de pesquisa Novas Tecnologias, Cultura e Práticas Interativas e Inovação em Saúde, na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz).

COLABORAÇÕES Beatriz acrescenta que a ideia do compartilhamento é ampliada no Open Science. “São iniciativas de pesquisa colaborativa, nas quais as diversas etapas vão sendo divulgadas, sem a preocupação com o registro de patentes ou com a prévia publicação de artigos, o que é padrão na pesquisa tradicional”, aponta a pesquisadora. Um exemplo é o consórcio Open Source Drug Discovery (OSDD), lançado em 2008, com financiamento do governo indiano. “Baseada nos princípios ‘colaborar, descobrir e compartilhar’, a iniciativa tem como objetivo produzir medicamentos acessíveis às populações dos países em desenvolvimento”. Pelos dados do site, são mais de 7,5 mil participantes de 130 países.

Para Alexandre Hannud Abdo, cientista molecular e pesquisador da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP), uma Ciência Aberta é a essência da própria ciência. “Se considerarmos os valores filosóficos e bases epistemológicas, podemos afirmar que, se não é aberto, não é ciência”. Ele ressalta que essa abertura tem relação direta com as tecnologias disponíveis e conclui que o movimento Ciência Aberta pode ser entendido como um processo de atualização das práticas científicas frente a essas novas tecnologias. No caso, a internet.

Aliada a essa incorporação, o movimento também é uma reação às restrições impostas quanto à prática e aplicação do conhecimento científico, que na opinião de Abdo, servem para garantir interesses particulares. “Há grupos da sociedade civil cobrando que o produto de investimentos públicos em ciência seja disponibilizado em domínio público. Essa pressão é fundamental. Não faz sentido ter um movimento de Ciência Aberta que não inclua cidadãos interessados na ciência. E esse comprometimento público é parte da motivação dos cientistas profissionais que participam do movimento”, avalia.

Abdo participa do grupo de trabalho em Ciência Aberta, criado com o objetivo promover discussões pa-



Notícias do Mundo

ra um maior entendimento e difundir práticas de processos abertos na ciência. O grupo de trabalho, que conta com o apoio da Rede pelo Conhecimento Livre (OKFn Brasil), versão nacional da Open Knowledge Foundation, foi criado oficialmente durante o Encontro de Acadêmicos pelo Conhecimento Livre, evento realizado nos dias 7 e 8 de junho, em São Paulo.

Além do acesso a publicações e dados científicos, outras propostas de trabalho do grupo são ferramentas científicas abertas (como softwares, hardwares, insumos e metodologias) e recursos educacionais abertos, além de ciência cidadã e wikipesquisas (que prevê o compartilhamento e colaboração aberta).

REDES Na avaliação de Beatriz, a construção colaborativa apresenta características importantes, como o enriquecimento da pesquisa e possibilidade de alcançar resultados de forma mais rápida. Isso porque a colaboração de diversas pessoas alia diferentes habilidades e conhecimentos. “Podemos falar aqui na formação de redes cognitivas que têm muito mais potencial produtivo e criativo do que pessoas ou equipes isoladas”, afirma.

A pesquisadora desenvolveu um trabalho intitulado Meta Autoria Wiki, como parte de sua pesquisa de doutorado, na Escola de Comu-

nicações e Artes (ECA), da USP (2012). “Minha ideia era observar na prática como se dá um processo de autoria colaborativa em um ambiente em que eu tivesse o controle sobre a proposta”, explica. Ela convidou as pessoas a participarem, a partir de um texto inicial que tratava de transformações na autoria no meio digital. “O resultado foi muito rico, pois os participantes ampliaram bastante aquilo que eu tinha proposto inicialmente”.

ESPAÇOS Já existem disponíveis na rede diversas formas de colaboração e espaços pelo conhecimento livre. Apenas para citar alguns, o ResearchGate é uma rede social exclusiva para pesquisadores, criada em 2008, na qual os participantes trocam informações, dão dicas, opinam e tiram dúvidas, além de disponibilizar textos resultantes de sua produção científica, como artigos, teses, livros. O arXiv, em funcionamento desde 1991, consiste em um arquivo *on line* de *preprints* publicados sem a revisão por pares – e o Peerage of Science (PoS), que permite a submissão de artigos a um sistema de avaliação por pares alternativo ao convencional.

AVANÇOS Em uma rápida avaliação sobre o desenvolvimento de ações e práticas de Ciência Aberta, Alexandre Abdo aponta que o Brasil

está em uma situação avançada em relação a acesso aberto e cita como exemplo a SciELO, biblioteca *on line*, que neste ano completa 15 anos. Também destaca o crescente interesse de instituições para a implantação de repositórios institucionais, bem como avanços no que se refere aos centros de software livre em universidades. “Mas, ao mesmo tempo, estamos longe de entender que, quando o código não está disponível para auditoria e desenvolvimento por outros cientistas, ele é ineficiente e não cumpre os fundamentos epistemológicos do conhecimento científico que a sociedade espera”. Nesse sentido, os principais desafios do movimento pela Ciência Aberta são, de acordo com ele, operar mudanças na cultura da comunidade científica, aumentar e fortalecer esforços para investigação de processos abertos na ciência. “Ainda tem gente influente no meio científico que vê o público como audiência e o cientista como portador do conhecimento”. Questionando esse posicionamento, Alexandre Abdo lembra que boa parte do conhecimento está disponível, por exemplo, na Wikipedia e *PLoS One*, uma revista científica de acesso aberto. “Cabe à sociedade, a cada cidadão, decidir se quer ser passivo ou não perante a ciência”.

Véronique Hourcade

MUN

PSQUIATRIA

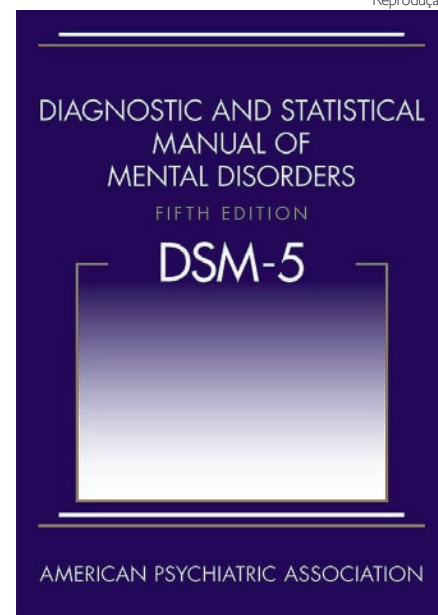
Nova edição de manual aumenta número de transtornos mentais

A quinta versão do *Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais* (DSM-5), um catálogo de mais de 300 doenças lançado em maio de 2013, vem sofrendo críticas. Especialistas a favor alegam que, sem o guia, não será possível detectar novas doenças, nem tratá-las de forma adequada. Já os contrários, veem um aumento desnecessário de diagnósticos e a influência da indústria farmacêutica na identificação de novas doenças. Uma das mais polêmicas mudanças no DSM-5 é a inclusão da síndrome de Asperger e de todas as variantes do autismo em apenas uma classificação, que passa a ter graus de severidade e não divisões. Essas variações são os chamados transtornos do espectro do autismo (ASD). Além disso, foram adicionados diversos critérios a outros transtornos mentais, como bipolaridade, síndrome de déficit de atenção (TDHA), esquizofrenia, depressão e ansiedade. O Manual inclui ainda, na seção III, uma série de condições que precisam ser melhor estudadas para se chegar

à decisão de defini-las, ou não, como um transtorno formal, como o transtorno de jogos na internet.

REFERÊNCIAS De acordo com Maria Aparecida Affonso Moysés, livre-docente da Faculdade de Ciências Médicas e coordenadora do Laboratório de Estudos sobre Aprendizagem, Desenvolvimento e Direitos, no Centro de Investigações em Pediatria (Ciped), ambos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o DSM surgiu como uma sistematização das doenças mentais, sendo um instrumento complementar à classificação das doenças. No entanto, a partir da versão III, ele passou a refletir as mudanças na área de psiquiatria norte-americana. “Não é mais uma plastificação das doenças, mas um manual que quase forma um profissional para fazer um diagnóstico. A cada edição os critérios são cada vez mais imprecisos e abrangentes. Por exemplo, até o DSM-IV o luto era um critério de exclusão do diagnóstico de depressão. Agora, a partir do 16º dia, a pessoa nessa condição é considerada depressiva”, afirma. “O DSM sempre foi um método reducionista de diagnóstico, que não condiz com a complexidade humana e ‘empobrece’ a pluralidade das manifestações e dos comportamentos”, afirma

Reprodução



Fabiola Colombani, especialista em psicologia escolar e educacional, e doutoranda em educação pela Universidade Estadual Paulista (Unesp/Marília). Ela acredita que o olhar “biologizante” estigmatiza as pessoas e é falho, ao não considerar as singularidades dos pacientes. O argumento de Fabiola revela diferenças históricas entre psicólogos e psiquiatras, na condução e interpretação de diagnósticos e tratamentos. O DSM, no entanto, cumpre o papel de uniformizar as informações entre os pesquisadores da área, como defende Sergio Tamai, psiquiatra em São Paulo, doutor pela Universidade de São Paulo (USP) e associado da Associação Brasileira de



Notícias do Mundo

Psiquiatria (ABP). “Obviamente, essa homogeneidade é fundamental quando se compara efetividade de procedimentos terapêuticos ou ainda efeitos colaterais, nos casos de medicações”, salienta.

HISTÓRIA DO MANUAL O DSM surgiu em 1952, resultado de estudos da Associação Norte-Americana de Psiquiatria (APA). A primeira edição descrevia 106 distúrbios mentais. Para Tamai, no entanto, as revisões do Manual seguem a evolução da ciência. “À medida que o conhecimento científico avança na medicina, doenças antes não reconhecidas passam a ser identificadas. Por exemplo, até o final de 1970, o transtorno de pânico não era reconhecido”, lembra. O primeiro grande rompimento foi a publicação do DSM-III, em 1980, com revisão em 1987. A psiquiatria ainda não era uma especialidade médica respeitada. De acordo com Maria Aparecida, o DSM-III sofreu grande influência das então novas regulamentações da indústria farmacêutica. À época, foi liberada a propaganda de medicamentos. Segundo ela, até essa versão, o Manual tinha foco em neurologia, não em psiquiatria. O DSM-IV, de 1994, manteve, basicamente, as mesmas diretrizes da versão anterior. Porém, houve grande mudança com a introdução

da questão do espectro e, na versão 5, do conceito de risco. “Basicamente, você pode estar bem, mas há o risco. Os critérios são frouxos”, lamenta. Tamai acha que, de forma imediata, não haverá mudanças para a população com a nova versão. “O DSM pode ajudar os profissionais de saúde mental a trocar informações, a organizar o raciocínio clínico, mas o diagnóstico e a conduta terapêutica são decisões tomadas pelos próprios médicos em conjunto com os pacientes”.

AUMENTO NAS VENDAS Desde 1971, quando a Convenção das Nações Unidas para Uso de Substâncias Psicotrópicas definiu regras de usos dessas drogas, a medicalização de doenças psicológicas cresceu. Fabiola explica que o termo medicalização vai além do simples ato de medicar, corresponde ao ato de transformar questões de origem social em questões médicas, como no caso da TDAH, que surge no ambiente escolar e tem seu diagnóstico pautado em manifestações do cotidiano. Em 2008, a Organização das Nações Unidas (ONU) detectou aumento no consumo de psicotrópicos. No Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) a venda de antidepressivos e

calmantes cresceu, de 2009 a 2010, 83% e 57%, respectivamente.

“Há um interesse das indústrias farmacêuticas em transformar os problemas sociais em doenças biológicas”, enfatiza Fabiola. Dados que se reforçam em pesquisa feita por Maria Aparecida Moysés que constata que 80% dos membros que elaboraram o DSM-5 têm vínculos com a indústria farmacêutica. Tamai discorda dessa visão: “historicamente, as doenças precedem o surgimento dos medicamentos. Muitas das grandes descobertas psicofarmacológicas são obras do acaso, como o caso dos antipsicóticos (a clorpromazina foi desenvolvida previamente como anestésico) ou dos antidepressivos (o primeiro era usado no tratamento da tuberculose). O DSM-5 contou com a colaboração de mais de 1.500 cientistas e estava em debate desde 1999. A atual versão custa nos Estados Unidos US\$199, muito mais do que as versões anteriores de US\$25 (DSM-III), US\$65 (DSM-IV) e US\$84 na revisão de 2000, segundo análise de Allen Francis, professor emérito do Departamento de Psiquiatria da Universidade de Duke (EUA) e coordenador da força tarefa do DSM-IV em artigo para o site *Psychology Today*.

Carolina Mendes Bento Ferreira



AGENTES DE MUDANÇA

Projeto europeu transforma o olhar e a participação de jovens

Em meio à crise da educação e da economia internacional, o projeto europeu Sis Catalyst encara o desafio de contribuir para transformar jovens em agentes de mudança, sobretudo no que diz respeito à inclusão social. O objetivo principal é “ir além da compreensão compartilhada para a co-criação de um futuro sustentável através da inclusão de crianças e jovens como atores sociais no desenvolvimento de políticas e práticas”, como enfatiza a inglesa Tricia Jenkins, fundadora do projeto.

O diálogo de crianças de 7 a 14 anos com gestores e tomadores de decisões compõem as linhas de ação do projeto que visa envolver diferentes atores na definição do conteúdo de programas educacionais que disseminem ciência na sociedade, através de organizações como escolas, universidades, instituições culturais, festivais e museus de ciência. “Sempre me pareceu intrinsecamente errado que o sistema de educação fosse usado para reforçar os sistemas de classe e poder da sociedade”, afirma Tricia.

O projeto investe em uma mudança de cultura para que os adultos assumam a responsabilidade de encontrar formas de consultar as crianças e reconhecer que as ideias e opi-



Jovens se reúnem com ministros europeus

niões dos jovens são tão importantes quanto as de instituições e governos. “Também acreditamos que as crianças precisam entender que verdadeiramente têm responsabilidade, que são confiáveis, respeitadas e que serão ouvidas”, enfatiza Tricia, que atua na Universidade de Liverpool.

DIÁLOGOS POSSÍVEIS Um exemplo dessa capacitação, ou empoderamento, ocorreu em 2012 quando jovens de 20 países se reuniram em Bucareste, na Romênia, durante dois dias com representantes ministeriais e de instituições de ensino da União Europeia para debater o futuro da educação superior. Marina Gonçalves, uma jovem brasileira de 14 anos, participou do encontro. “O que mais me surpreendeu foi que em países de culturas completamente distintas, os problemas se repetiam; como, por exemplo, o custo da educação superior e a grande quantidade de alunos por sala dentro de escolas públicas”.

De acordo com Matteo Merzagora e Andrew Abrahamson, membros do projeto, os jovens tiveram a oportu-

nidade de expressar suas opiniões aos ministros e políticos e discutir o futuro da educação. “No entanto, essa influência é muito individual e pessoal”, avaliam. Para Marina ter a oportunidade de dar a sua opinião muda a vida dos jovens. “Ter a chance de sentar com uma personalidade política e questioná-la, foi muito importante, pois mostrou que, além de tudo, conseguimos ter voz para ir atrás do que queremos. Fizemos perguntas que literalmente fizeram com que ministros coçassem a cabeça em busca de respostas”, relata.

“O projeto atua como um catalisador, ajudando os dois lados da equação a reagir uns com os outros da melhor maneira possível”, explicam Merzagora e Abrahamson. Para eles, o sucesso da atuação do projeto será traduzido em sua capacidade de influenciar futuras ações de indivíduos ou instituições. Segundo Tricia, esse impacto já pode ser sentido. “Posso ver o pensamento por trás do Sis Catalyst ressoando não apenas dentro da União Europeia mas também de modo mais amplo como em recente documento das Nações Unidas que cita palavras como confiança e respeito mútuos – centrais no projeto – como peças-chave de mudanças. O projeto, que termina em 2014, tem financiamento de 3,6 milhões de libras da Comissão Europeia, agrega 16 parceiros na Europa e 19 consultores em todo o mundo.

Marcela Salazar Granada

EMERG ÊNCIA

COORDENADOR
Rémy Lestienne

Oswaldo Pessoa Jr., Michael Crawford, Eduardo Miranda,
Nuno David, Jaime Simão Sichman, Mark Bedau

APRESENTAÇÃO

EMERGÊNCIA, UM NOVO PARADIGMA INDISPENSÁVEL PARA AS CIÊNCIAS E A FILOSOFIA?

Rémy Lestienne



bem conhecida a afirmação do físico Marquês de Laplace (1749-1827):

Para um ser suficientemente inteligente conhecer, num determinado momento, todas as forças que se exercem na natureza e todas as posições e velocidades relativas das partículas que compõem o Universo, [...] nada seria incerto e o futuro, bem como o passado, estaria presente a seus olhos (1).

Na ciência de Laplace não há lugar para novidades. Tudo está escrito, e o futuro se desenvolve de uma maneira implacável, mesmo se não soubermos, na prática, como prever o que vai acontecer!

Porém, em todas as épocas houve filósofos e cientistas descontentes com essa concepção. Eles acreditavam na possibilidade de reais novidades acontecerem. Mas como caracterizar os surgimentos dessas novidades, aparecendo *ex abrupto* de um modo totalmente natural, ou pela criação humana?

No artigo que abre este Núcleo Temático da revista *Ciência e Cultura*, a história do conceito de emergência nas ciências é contada de maneira rigorosa por Osvaldo Pessoa, juntamente com a apresentação das variantes da teoria. Ele conclui dizendo que a variante “emergência fraca” ainda é compatível com o ideal do reducionismo, em contraposição às variantes “fortes”, para as quais as propriedades novas são responsáveis por ações descendentes da totalidade sobre os elementos de nível inferior, de modo que os domínios de aplicações do reducionismo e da emergência devem ser claramente delimitados.

Já a afirmação de Laplace confronta a antiga máxima de Aristóteles, segundo a qual “a totalidade é mais do que a soma das suas partes”, que hoje ainda faz parte da bandeira dos cientistas e filósofos emergentistas. Mas a intuição antiga necessitava de uma reflexão metódica e racional. Esse quadro foi estabelecido por George Henry Lewes e Conwy Lloyd Morgan, na filosofia e nas ciências da vida respectivamente, entre outros pensadores. Eles salientaram dois pontos relacionados à emergência: 1) a natureza se caracteriza por construções em níveis sucessivos diferenciados, de complexidade crescente; 2) em muitos desses níveis aparecem estruturas e propriedades novas, chamadas de propriedades emergentes, que não podem ser antecipadas pela consideração dos elementos presentes no nível inferior e suas interações.

Na primeira metade do século XX, eram os biólogos quem mais defendiam a possibilidade de novidades genuínas, levando em consideração a estrutura em patamares da biologia, da célula até o ser vivo, e a aparição de novidades em todos os patamares sucessivos. No final do seu livro *Evolução emergente*, Morgan enunciou a sua crença:

Eu acredito em um mundo físico que está na base da pirâmide da evolução e que está envolvido em todos os níveis superiores; eu acredito que em todos os níveis da pirâmide há atributos correlacionados a estes níveis e que existe um processo de evolução psicofísico emergente; e eu acredito que este processo é a manifestação de uma atividade espaço-temporal imanente que é a fonte última desses fenômenos que são interpretados pelo naturalismo evolucionário (2, p. 309).

Entretanto, a física, do seu lado, continuava a procurar completar o programa reducionista elaborado por Descartes, Newton e Laplace. Físicos tendiam a se manter afastados da corrente emergentista, tanto mais que, a partir da metade do século XX, o desenvolvimento da biologia molecular bem como a influência do behaviorismo levaram os próprios biólogos a se influenciarem pelo ideal reducionista. Mas, por uma ironia cuja história é costumeira, na mesma época, a ideia de emergência começou a tomar vigor num ramo da física: a física da matéria condensada, como mostra Eduardo Miranda neste Núcleo Temático, que explica o desenvolvimento de uma física da emergência sob a questão das simetrias quebradas na física.

Rapidamente, esses físicos se espantaram pelo fato de que as constantes físicas fundamentais, tal como a carga do elétron ou a constante de Planck, eram medidas com uma precisão muito maior considerando um pedaço bastante grande de matéria, do que considerando partículas elementares isoladas. Com o uso de efeitos a temperaturas baixíssimas, tais como o efeito Josephson sobre as ondas emitidas por um sanduíche de supercondutores num campo magnético, descoberto em 1962, ou o efeito Hall quântico (a diferença de potencial que aparece num fio supercondutor quando a corrente atravessa um campo magnético), descoberto e estudado por Klaus von Klitzing nos anos 1980, a precisão relativa sobre a carga do elétron subiu até 10^{-9} , muito melhor que a medida clássica de Millikan sobre o equilíbrio de uma gotinha de óleo entre as bandejas de um condensador elétrico.

Para o ganhador do Prêmio Nobel Robert Laughlin (1998), o paradigma da emergência abre um reverso da nossa visão do mundo: as propriedades mais fundamentais (a carga do elétron por exemplo, ou as leis da natureza em geral) doravante não seriam preexistentes em relação ao mundo, mas, ao contrário, dependeriam da organização da totalidade, ou, para dizer as coisas de outro modo, elas emergem do mundo, e não o inverso. E, num livro seu, ele conta, a esse propósito, uma conversa que teve com o seu sogro. “Eu disse a ele que as leis da natureza que são importantes para nós emergem por um processo de auto-organização, de modo que para as entender e explorar não é, na verdade, necessário considerar os constituintes elementares”. O sogro não estava convencido. Por fim, Laughlin lhe perguntou: “Será que os parlamentos fazem as leis, ou as leis que fazem os parlamentos?” (3).

Hoje, os cientistas biólogos estão liberados da visão mecanicista e reducionista dos primeiros passos da biologia molecular, e estão curados do aforismo “um gene, uma função”, após a investigação da complexidade das redes de regulação da transcrição e da tradução dos genes. Eles hoje veem a biologia da filogênese, assim como da ontogênese, como um problema de alta complexidade, melhor estudado pelo paradigma da emergência do que pelo reducionismo molecular. Isso é, de fato, o assunto do artigo de Michael Crawford, que segue compondo este Núcleo Temático.

Existe uma outra abordagem dos problemas complexos. Para entender, ao menos em parte, como propriedades novas aparecem nos sistemas complexos, é possível utilizar as ferramentas da simulação computacional. Elas permitem investigar, à vontade, as condições mínimas de aparecimento de estruturas e propriedades emergentes. De fato, a simulação computacional é um ramo muito importante dessa nova ciência. Mas há uma pergunta fundamental: os processadores dos computadores são inteiramente deterministas. Como eles podem produzir propriedades novas, insuspeitas, em sistemas complexos?

Tem-se duas respostas parciais a esta questão: a primeira, que Nuno David e Jaime Sichman detalham no artigo seguinte, afirma que devemos reconhecer que na pesquisa computacional há um intercâmbio contínuo entre a máquina e o pesquisador: o modelo que este aplica se modifica à medida que a simulação se desenvolve. Ao final, uma simulação computacional nunca é completamente mecânica.

A segunda resposta é proposta por Mark Bedau que, na sua entrevista, aborda também o problema da simulação computacional, a qual é muito utilizada por ele em suas pesquisas. Bedau afirma que a simulação computacional sempre leva a propriedades emergentes do tipo fraco, compatível com o reducionismo, e que ele suspeita que todas as propriedades emergentes manifestadas pela vida são desse tipo (o que, afirma, não quer dizer que essas propriedades não sejam novidades ontológicas).

Um primeiro exemplo típico de aplicação da ideia de emergência é a passagem da matéria inerte para a vida. Essa passagem necessitou muito tempo e a interação dos sistemas em questão com o meio ambiente, duas características usuais da emergência.

Hoje, cientistas tentam reproduzir células vivas, objetivo deste novo ramo da biologia chamado “biologia de síntese”. O mais conhecido deles é talvez Craig Venter, já famoso pelo papel que desempenhou, nos Estados Unidos, no sequenciamento do genoma

humano. Sintetizando o DNA completo de uma bactéria a partir da sequência registrada em um computador (com a ajuda de uma levedura), ele conseguiu reimplantar esse DNA de síntese em outra bactéria, deslocando o genoma, e fazendo viver e se reproduzir a célula com o genoma sintético. Em sua entrevista, Mark Bedau salienta que esse passo ainda não equivale à criação, a partir de todas as peças, de uma vida artificial, mas acredita que esta meta poderá ser atingida em um futuro relativamente próximo.

Um segundo exemplo importante de emergência nas ciências da vida se refere ao surgimento de consciência nos humanos e, provavelmente, nos primatas superiores (dependendo da definição precisa desse conceito). Isso é particularmente importante do ponto de vista filosófico, porque a relação mente-cérebro é claramente ligada ao livre-arbítrio. Tentei tratar desta questão no último artigo deste Núcleo Temático, seguindo o percurso do ganhador do Prêmio Nobel Roger Sperry (1981). Este percurso é particularmente interessante porque Roger Sperry foi treinado como neurofisiologista no espírito do behaviorismo, isto é, na ideia que o cérebro seria um sistema tão complicado que não seria possível tratar cientificamente “funções” como a consciência. Porém, após alguns anos de pesquisa, Sperry passou a admitir que a consciência exerce um poder organizador, uma causalidade do tipo “top-down”, sobre os processos neurofisiológicos, as descargas neuronais, propondo, assim, esse exemplo como um caso paradigmático de emergência forte.

Esse ponto foi seriamente criticado por alguns cientistas e filósofos, destacando-se o filósofo Jaegwon Kim. Porém, acredito que a crítica pode ser contornada. Primeiro, tem-se a possibilidade de alargar a noção de causa, para que ela inclua não apenas a causa eficiente, mas também outras formas de causa, como o faz o cientista brasileiro Charbel El-Hani (4; 5).

Minha proposta, porém, é diferente. No meu livro *Dialogues sur l'émergence* (6), proponho refletir sobre o estatuto da noção de tempo à luz da nova ciência do emergentismo (uma proposta já considerada por Ilya Prigogine). Considerando a complexidade e a estrutura em patamares do tempo, que não afeta da mesma maneira todos os sistemas, da partícula elementar até o Universo e da bactéria até a mente humana, parece possível, talvez, reinterpretar, e melhor compreender, a máxima de Bergson, “O tempo é invenção ou é nada”.

Rémy Lestienne é diretor honorário de pesquisa no Centro Nacional de Pesquisa Científica da França (CNRS). Ele é autor de vários artigos e livros sobre o tema da emergência, sendo o mais recente, Dialogues sur l'émergence. Editora Le Pommier, 2012. Email: remy.lestienne@bbox.fr

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Laplace, P.S. (1814) *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris.
2. Morgan, C.L. (1923) *Emergent evolution*, Londres: Williams & Norgate.
3. Laughlin, R. *Um Universo diferente*, Lisboa: Ed. Gradiva.
4. El-Hani, C. N. & Vieira, F. S. (2008). Emergence and downward determination in the natural sciences, *cybernetics and human knowing*, 15(3-4), 101-13.
5. Cahoon, L. (2012) *The orders of nature*, New York: Suny Press.
6. Lestienne, R. (2012). *Dialogues sur l'émergence*. Paris: Ed. Le Pommier. *Diálogos sobre a emergência*, em preparação, São Paulo: Ed. Unesp.

EMERGÊNCIA E REDUÇÃO: UMA INTRODUÇÃO HISTÓRICA E FILOSÓFICA

Osvaldo Pessoa Jr.

Quando se diz que a vida “emergiu” na Terra, não se está dizendo que algo pré-existente deu as caras, como um golfinho que emerge na superfície da água. O conceito de emergência está associado à ideia de *novidade*. Porém, no estágio avançado em que a ciência se encontra, grandes áreas do conhecimento foram unificadas por leis físicas, químicas e biológicas, que envolvem entidades que se conservam, como os átomos, mas que se reorganizam de diferentes formas para gerar toda a variedade do mundo natural. Até que ponto pode dar certo o projeto de “reduzir” os fenômenos naturais, como a vida, a um conjunto de moléculas que se organizam de diferentes formas com o passar do tempo? Até que ponto a novidade na natureza ou a criatividade humana podem ser explicadas? Em que medida é preciso postular uma “emergência” de entidades e de propriedades para sanar as limitações do reducionismo? Neste caso, como seria esta teoria da emergência, nos diferentes campos das ciências naturais, humanas e formais? Estas são perguntas para as quais não se tem respostas consensuais. Neste artigo, e nos demais que compõem este Núcleo Temático, diferentes abordagens serão dadas a essas questões.

Em poucas palavras, o conceito de *emergência* refere-se a um estado de coisas no qual as propriedades de um certo domínio *não se reduzem* completamente às propriedades de outro domínio (seriam “autônomos”), apesar de serem, em algum sentido, *produzidos* por este outro domínio (ou serem “dependentes” deste).

Esta caracterização deixa clara uma certa tensão ou ambiguidade do conceito, uma “produção sem redução”, uma “dependência com autonomia”, que constitui a força e a fraqueza do conceito de emergência. A força surge do fato de que estamos estendendo nossa linguagem e nossa teoria para os limites de nosso conhecimento, região em que nossas intuições e expectativas lógicas às vezes nos enganam, de maneira que talvez esse conceito ambíguo seja nossa melhor aproximação à verdade. Mas a fraqueza surge justamente das tensões lógicas inerentes ao conceito, que ficam evidentes quando se abandona o uso pragmático desse conceito e se busca analisá-lo de maneira mais rigorosa.

EMERGÊNCIA NO EMPIRISMO BRITÂNICO O conceito de emergência surgiu no contexto da filosofia empirista britânica do século XIX. Ao tratar da “composição das causas”, John Stuart Mill (1) forneceu o seguinte exemplo, que modificamos um pouco. Imaginemos uma solitária bola de bilhar em cima de uma mesa, e duas pessoas que irão dar uma tacada em diferentes direções. Se apenas um jogador der a tacada, diríamos que uma causa individual (o impulso) gera um efeito específico (a velocidade da bola na correspondente direção). O que

aconteceria se ambas as pessoas dessem sua tacada ao mesmo tempo? Ora, pelo princípio de composição de forças, o efeito final seria a soma vetorial dos efeitos individuais. Em termos atuais, diríamos que, nesse caso, a soma das causas é *linear*. Mill chamou esse tipo de composição de causas de “homopático”, distinguindo-o do “heteropático”, que incluiria os casos de soma *não linear* de causas, como aqueles que tipicamente acontecem na química. Por exemplo, misturam-se dois líquidos transparentes, como uma solução de hidróxido de sódio e fenolftaleína, e o resultado não é transparente (como seria de se esperar em uma soma homopática), mas cor de rosa.

O fato de as causas na química e na fisiologia não se somarem de maneira homopática indicava, para Mill, que é “impossível deduzir” as leis dessas áreas a partir das leis da física. Esta é uma expressão da tese da *emergência*: as leis da química e da biologia seriam irredutíveis às leis da física, no sentido de não serem dedutíveis a partir destas. Mill também concebia que enunciados da química e da biologia podem ser deduzidos de leis fundamentais dentro de cada área respectiva. No caso da química, haveria leis fundamentais que seriam irredutíveis às leis da física, mas que serviriam para reduzir os outros enunciados da química. Nossas teorias se estratificariam em domínios autônomos.

Essas ideias de Mill foram estudadas e desenvolvidas por dois outros pensadores no final do século XIX: o filósofo e psicólogo escocês Alexander Bain (1870) e o filósofo inglês George Henry Lewes (1875). Este último cunhou o termo “emergência”: “Ressaltar que não sabemos como essas condições múltiplas emergem no fenômeno da consciência é dizer que o fato sintético não foi resolvido analiticamente em termos de todos os seus fatores. É igualmente verdadeiro que não sabemos como a água emerge do oxigênio e hidrogênio. O fato da emergência nós conhecemos; e podemos estar seguros de que o que emerge é a expressão de suas condições” (2).

A posição de Lewes, como ele esclarece na sequência do texto, se contrapõe à do espiritualista, que defende que a mente tem existência independente do corpo. Sua postura é claramente materialista, ao escrever que as manifestações da consciência “são” as ações do mecanismo nervoso.

INTERLÚDIO FILOSÓFICO: ÔNTICO VERSUS EPISTEMOLÓGICO Nesse trecho de Lewes, apresenta-se uma distinção muito importante na filosofia, entre afirmações “ontológicas” e “epistemológicas”. Quando Lewes escreve que a água “é” a combinação de hidrogênio e oxigênio, ele parece estar se referindo a como as coisas são na realidade, independente da presença ou não de um observador, ou de mentes inteligentes. Esta é uma afirmação *ôntica*. Por outro lado, ao sugerir que o conceito de emergência se aplica a situações em que “não sabemos” como fazer a redução, ele está fazendo uma afirmação *epistemológica*, relativa ao conhecimento da realidade, e não à realidade em si.

Esta distinção nem sempre é muito clara. Afinal, como seria possível falar da realidade em si, sem que seja por meio de nosso conhecimento dela? Quem aceita esta tese, de que não faz sentido se referir a uma realidade independente de conceitos humanos, ou a uma realidade inobservável, está adotando uma postura *antirrealista* ou “fenomenalista” (no sentido de que só temos acesso aos fenômenos

observáveis, e não à coisa-em-si que presumivelmente estaria por trás dos fenômenos). Esta postura é comum a várias correntes filosóficas, como o positivismo, o construtivismo kantiano e o pragmatismo.

Em contrapartida, aquele que de alguma forma aceita que se possa referir a entidades inobserváveis, ou que concebe um limite que aponta para uma realidade que seja independente de conceitos humanos, adota uma postura *realista*. Esta é a postura de correntes como o materialismo e o espiritualismo, que especulam metafisicamente a respeito do que acontece conosco após a morte. A verdade é concebida como uma correspondência entre linguagem e realidade.

Ao discutirmos a relação que há entre duas teorias, como a mecânica estatística e a termodinâmica, ou entre a mente e o corpo, ou entre a fisiologia animal e a biologia molecular, coloca-se a questão de se uma teoria é redutível à outra. Tal redução, ou sua negação (a ser chamada de emergência), pode ser considerada em diferentes “variedades” ou “categorias”. Cada autor propõe sua própria terminologia, mas adotaremos aqui uma divisão em três variedades de redução (ou de sua negação): a *ôntica* (metafísica), a *teórica* (epistemológica) e a *metodológica* (3). Assim, por exemplo, um realista pode defender a redução ôntica entre dois domínios, mas recusar a redução teórica.

HOLISMO VERSUS SEPARABILISMO As discussões de Mill, Bain e Lewes se encerraram em torno de 1880, e demoraria 40 anos para serem retomadas nas Ilhas Britânicas, em um novo contexto: o da evolução biológica. Devemos porém ressaltar aqui que a discussão entre redução e emergência já fazia parte da tradição filosófica que remontava à Antiguidade.

Na Grécia e Roma Antigas, os atomistas (como Leucipo, Demócrito, Epicuro, Lucrecio e Asclepíades) eram os reducionistas por excelência, concebendo que todos os corpos seriam compostos de átomos indivisíveis, de diferentes tamanhos e formatos, que se enroscavam para compor os corpos do nosso cotidiano. Tais átomos se moveriam no espaço vazio, espaço esse que era concebido como infinito em extensão, e a única força atuante seria o choque ou enroscamento entre átomos, bem no espírito do mecanicismo do século XVII. Mesmo os atributos da percepção e da alma humana eram reduzidos a átomos muito pequenos e esféricos.

Atribuiremos o nome de “reducionismo separabilista”, ou simplesmente “separabilismo”, para essa concepção. Diversas correntes da Antiguidade se opunham a ela, como o estoicismo e o hilemorfismo de Aristóteles. Abordando os paradoxos do movimento, de Zenão, referindo-se ao espaço e ao tempo, Aristóteles argumentou que estes não possuem partes *atuais*, mas apenas partes *potenciais*. Se houver uma divisão de uma distância em duas metades, aí se pode falar em duas partes atuais, mas, antes desta divisão, as partes são apenas potenciais. Ao passar essa ideia para a constituição dos corpos, pode-se dizer que um pedaço de âmbar é antes de tudo um *todo*, sem partes atuais, mas apenas potenciais; só após se dividir o âmbar com uma faca é que as duas partes resultantes passam a existir de modo atual. Nesta concepção *holista*, o todo é anterior às partes.

A DISCUSSÃO ENTRE REDUÇÃO E EMERGÊNCIA JÁ FAZIA PARTE DA TRADIÇÃO FILOSÓFICA QUE REMONTAVA À ANTIGUIDADE

Concepções “organicistas” na biologia opuseram-se tradicionalmente ao mecanicismo, postulando que seres vivos possuem uma unidade, uma forma, um arquétipo, uma organização e/ou (dependendo do autor) uma finalidade, que existiria(m) como algo distinto das partes físicas componentes do organismo. Tais concepções tornaram-se fortes no contexto do romantismo alemão do século XIX, tanto na filosofia quanto na biologia pré-darwiniana. O organicista Claude Bernard era um destacado defensor do reducionismo metodológico, ou seja, do programa de se levar ao máximo a redução da fisiologia à química e física, mas recusava o reducionismo teórico e ôntico: “Tudo isso prova que esses elementos, enquanto distintos e autônomos, não desempenham o papel de simples associados, e que sua união exprime mais do que a soma de suas propriedades separadas” (4).

A afirmação de que “o todo é maior do que a soma das suas partes” caracteriza a visão holista, mas ela precisa ser qualificada com cuidado. Tomemos o exemplo de um modelo de plástico em escala de um avião, que pode ser adquirido em lojas de brinquedo. Pode-se dizer que o modelo montado por uma criança é “maior” do que a soma de suas partes de plástico, soltas na caixa adquirida na loja? Bem, a criança utilizou cola para grudar as partes do avião, mas

essa cola também pode ser considerada uma das partes do modelo construído. Mas o ponto não é esse, e sim que no modelo montado as partes estão *organizadas* de uma certa maneira, ao passo que na caixa estavam de outra. Pode-se então dizer, como sugerem alguns autores, que o reducionismo separabilista fracassa porque ele deixa de fora a organização das partes?

Se a questão fosse só essa, ela seria trivial. Mesmo para os atomistas gregos, não faria sentido falar em redução dos corpos aos átomos sem levar em conta o “arranjo” dos átomos, ou seja, todas as

relações entre as partes. As relações espaciais e cinemáticas entre as partes são imprescindíveis na descrição do reducionista separabilista, como pode ser ilustrado no exemplo da redução do sistema solar às suas partes (3). A definição de sistema holista precisa ser dada com mais cuidado (5), sendo um conceito importante na discussão sobre emergência.

A EVOLUÇÃO EMERGENTE Na filosofia francesa, Henri Bergson, herdeiro da tradição espiritualista, exerceu bastante influência em suas críticas ao materialismo e ao reducionismo mecanicista. Em 1907 publicou sua *Evolução criadora*, defendendo a existência de um “*élan vital*” que guiaria a evolução biológica, introduzindo novas variações qualitativas e criatividade na evolução. No contexto britânico suas ideias foram bastante discutidas, consideradas irracionais por alguns, mas aceitas em boa medida por outros.

A figura central na elaboração de uma teoria da emergência em um contexto naturalista, levando em conta a consolidação da teoria da evolução biológica, foi o cientista inglês Conwy Lloyd Morgan. Ele travou contato com a obra de Bergson em 1912, quando passaram a se corresponder. Apesar de discordar da tese bergsoniana de que a intuição seria superior à razão, abraçou a ideia de que a evo-

lução biológica produz novidade genuína. Sua concepção madura foi publicada em 1923 no livro *Emergent evolution* (6). Assimilou a terminologia de Lewes de efeitos “resultantes” e “emergentes”, considerando os primeiros como desenvolvimentos quantitativos que ocorrem de maneira contínua na evolução, ao passo que os segundos seriam novidades qualitativas que “co-ocorreriam” com as mudanças mecanicistas. O surgimento de um emergente seria imprevisível e quando surgisse, no “nível da vida”, alteraria o curso dos eventos físicos no nível inferior. Essa atribuição de poder causal aos emergentes, que escaparia do ordenamento mecanicista, é conhecida hoje como “causação descendente”.

David Blitz (7) traça um panorama detalhado da obra de Lloyd Morgan e de outros autores de língua inglesa que desenvolveram ideias semelhantes, no período. Vários outros autores com trabalhos relacionados à evolução emergente e à estratificação do real em diferentes níveis de emergência são examinados por Blitz, assim como diversos críticos, incluindo Bertrand Russell e Rudolf Carnap. Essas críticas filosóficas, aliadas à consolidação do programa reducionista da genética, levaram a um certo “eclipse do emergentismo” entre 1930 e meados da década de 1950. Mas visões emergentistas permaneceram nas concepções de biólogos organicistas como Needham, Woodger e Novikoff, que salientavam a estratificação da realidade em diferentes níveis hierárquicos autônomos, evitando assim a redução mecanicista.

No campo da filosofia da ciência, a retomada do interesse nos conceitos de emergência e de causação descendente se deu a partir da revisão crítica feita em 1956 por Meehl e Sellars (8). A ideia de emergência na filosofia da mente oferecia uma maneira de conciliar o materialismo (ou “físicismo”, *physicalism*, como se começou a falar na década de 1950) com o não reducionismo. O neurocientista Roger Sperry começou a articular sua concepção em 1952, a partir da noção de que os fenômenos mentais não se encontram no nível neuronal, mas constituem um nível holista mais elevado. Na década de 1960, culminou seus esforços de compreensão do fenômeno psíquico com a tese da causação descendente, a tese de que a consciência pode controlar, de maneira *top-down* (de cima para baixo), os caminhos seguidos pelo cérebro (9).

A “re-emergência” dos conceitos de emergência, de estratificação da natureza e de causação descendente se consolidou, na filosofia da biologia, na década de 1970, em autores como Ernst Mayr, Paul Weiss, Peter Medawar e Donald Campbell. Na filosofia da ciência, autores como Karl Popper e Mario Bunge exploraram o conceito no final da década de 1970, e nos anos seguintes ele se tornou um tópico central da filosofia da mente, associado ao fisicismo não-redutivo, e explorado em coletâneas, como Beckerman et al. (10) e Bedau e Humphreys (11). Na física, a partir da década de 1970, o conceito de emergência se tornou central no debate entre físicos da matéria condensada e o reducionismo dos físicos de partículas elementares (12).

A RELAÇÃO DE SUPERVENIÊNCIA O debate entre emergentistas e reducionistas na ciência se refere ao estatuto da relação entre diferentes *níveis* na natureza, como o mundo das moléculas e o mundo dos organismos (na biologia), como a escala subatômica e a escala

macroscópica (na física e química) e como o domínio material e mental (na psicologia e neurociência). Em cada par de níveis mencionados, o primeiro será chamado nível “inferior”, e o segundo de “superior”. Evitaremos tratar aqui de sistemas abstratos, como os da matemática, pois, por serem construções mentais, parecem carregar dentro de si, de maneira implícita, os problemas não resolvidos da relação mente-corpo.

O chão comum aos dois lados do debate é que os acontecimentos do nível superior são “dependentes” daqueles do nível inferior, ou, no jargão filosófico, os primeiros “supervêm” a partir dos segundos. A relação de *superveniência* entre dois níveis, conforme usada por Davidson (1970), equivale à situação em que, se fixarmos o estado do nível inferior, fixaremos de maneira unívoca o estado do nível superior.

Por exemplo, dado um estado microscópico de um gás, onde as massas, posições, velocidades etc de cada molécula são fixadas, tem-se uma previsão unívoca a respeito de qual é a pressão p_1 e a temperatura T_1 a ser medida por um instrumento macroscópico naquele mesmo instante (supondo-se condições de contorno bem controladas). Nesse sentido, as macropropriedades (p , T) supervêm às micropropriedades (m_p , r_p , v_p etc). Em contrapartida, se os valores das propriedades do nível superior forem fixadas, há um imenso conjunto de microestados distintos que são consistentes com esses valores das macropropriedades: isso exemplifica que a relação de superveniência é, em geral, assimétrica.

No debate entre emergentistas e reducionistas, o chão comum é a aceitação da relação de superveniência entre domínios dos dois níveis em questão. Assim, no caso das filosofias materialistas da mente, quem aceita a relação de superveniência aceita que se fixássemos o estado corporal de uma pessoa, com um nível de precisão molecular, fixaríamos a sua mente a um único estado subjetivo.

VERSÕES DE EMERGÊNCIA Há, assim, uma concordância no debate entre emergentistas e reducionistas de que algum domínio do nível inferior fixa, univocamente, um domínio do nível superior. Porém, “fixar” não é sinônimo de “reduzir”; pelo menos, esta é a tese das posições emergentistas. Para estas, mesmo com a relação de superveniência, o nível superior preserva algum grau de “autonomia” em relação ao inferior. Para os reducionistas, esta autonomia é nula; para os emergentistas ela é significativa.

Como os emergentistas explicam esta postulada autonomia? Olhando para a história do conceito, Stephan (13) identificou cinco “versões” de emergência: 1) autores como Mill e Lewes enfocam a *não-aditividade* ou não-linearidade das causas que levam ao efeito emergente; 2) para Morgan e Alexander, na década de 1920 e, mais recentemente, Bunge, a emergência envolve o surgimento de *novidade*; 3) Morgan e Broad, além de Popper, salientam a *imprevisibilidade* dos entes ou das propriedades emergentes; 4) autores como Mill e Broad ressaltam a *não-dedutibilidade* das propriedades emergentes do nível superior a partir do nível inferior. Mais modernamente, fala-se em *inexplicabilidade*; 5) e, por fim, alguns autores tomam a já mencionada *causação descendente* como característica definidora da emergência.

Outra distinção relevante é aquela entre uma relação de emergência “sincrônica” e uma “diacrônica” (14). A relação sincrônica se daria em um único instante de tempo e, portanto, não envolve causalidade (entendida como uma relação entre eventos em diferentes instantes do tempo). Parece-me que este é o sentido mais interessante da relação de emergência ou redução, que no caso das ciências físicas envolveria diferentes escalas (nano, micro, macro).

A relação diacrônica envolve a passagem do tempo entre um estado no nível inferior e outro no nível superior. Para Stephan (14), isso é característico da variedade de emergentismo baseada na noção de imprevisibilidade ou de novidade, ou seja, quando uma propriedade emergente é imprevisível antes de seu primeiro surgimento.

EMERGÊNCIA PRAGMÁTICA E REALISTA Levando em conta a distinção, feita anteriormente, entre redução ôntica e teórica (epistemológica), percebemos que as noções de imprevisibilidade e inexplicabilidade tendem a ser epistemológicas, relativas à capacidade de previsão ou explicação dos seres humanos, não sendo uma propriedade da própria realidade. Porém, num contexto realista, essas noções epistemológicas poderiam ser usadas para definir uma propriedade ôntica, por exemplo, a de que é *impossível* colocar o sistema complexo em uma relação de correspondência com qualquer sistema linguístico.

Já num contexto mais pragmático, em que o imprevisível e o inexplicável é sempre tomado em relação às limitações humanas, torna-se bastante plausível a defesa do emergentismo (15). Se o ser humano nunca conseguir prever em qual direção (esquerda ou direita) irá vergar uma barra vertical simétrica e flexível, sujeita a uma força vertical, e nem explicar de maneira completa o ocorrido, então o pragmatista está justificado em dizer que esse vergamento ou “flambagem” da barra é uma propriedade emergente (12). Já o reducionista terá que adotar uma postura realista, e dizer que “em princípio” tal flambagem seria previsível (por exemplo, por um demônio de Laplace), ou que, “em princípio”, se poderia dar uma explicação completa, levando em conta *todas* as moléculas da barra e de seu entorno.

Este debate entre o pragmatismo e o realismo é uma comparação entre posições filosóficas e não envolve nenhuma grande questão *científica* a respeito da natureza do mundo real. Para tornar o debate mais significativo, é interessante articular uma posição *emergentista realista*.

No caso das ciências físicas, é comum o argumento de que a derivação de uma lei macroscópica (da matéria condensada ou da química) a partir da física atômica envolve dados obtidos na área macroscópica e aproximações que só são feitas porque se sabe qual é a lei que se quer derivar. Mas tais argumentos são epistemológicos, referentes a como nós, seres humanos, estabelecemos uma derivação teórica de redutibilidade entre dois níveis. Para um emergentista realista, é preciso um argumento mais forte, que estabeleça alguma impossibilidade real de se passar de um nível inferior para o superior. No caso das ciências físicas, o melhor argumento nesse sentido é que há diversos domínios ou “protetorados”, como o estado cristalino ou a supercondutividade, que são regulados por princípios de simetria próprios e são insensíveis a detalhes mais microscópicos (16).

No caso da relação mente-corpo, há argumentos realistas adicionais a favor da emergência, em especial o caráter *sui generis* das qualidades fenomênicas subjetivas (*qualia*), que são de natureza totalmente diversa das grandezas quantitativas utilizadas pela descrição física da natureza.

EMERGÊNCIA FRACA, MÉDIA E FORTE Há um sentido de emergência que é bem aceito pelos reducionistas, e para esta acepção Stephan (14) reserva o nome de “emergência fraca”, ao passo que Bedau (17) a chama de “emergência nominal”. Isso é exemplificado nas ciências físicas, nas situações em que se fala de uma propriedade coletiva, como a liquidez, que não se aplica a uma molécula.

No polo oposto, há o que ambos os autores chamam de “emergência forte”. Stephan a caracteriza simplesmente como não redutibilidade, sendo que o candidato mais plausível está na relação mente-corpo. Já Bedau considera que a emergência forte é caracterizada pela causalização descendente: entes emergentes no nível superior teriam “poderes causais” ausentes nos entes de nível inferior. No caso da relação mente-corpo, isso seria exemplificado por estados mentais de desejo, que causam estados mentais de decisão; nossa intuição parece sugerir que é o estado de desejo, e não seu substrato material, que causa a alteração no substrato material que corresponde à decisão. Argumentos semelhantes são feitos na biologia evolutiva, na teoria de seleção em múltiplos níveis (18). A clássica crítica ao conceito de causalização descendente, na filosofia da mente, foi feita por Kim (19).

Entre os dois extremos, Bedau define a “emergência fraca”, em que o nível superior seria em princípio onticamente redutível ao nível inferior, como quer o reducionista, mas a explicação do nível superior a partir do inferior seria “especialmente complexa” (20). Esta seria uma “explicação gerativa incompressível”, que explicaria corretamente como os eventos macroscópicos se desdobram no tempo, traçando cada detalhe da complexa rede de interações causais microscópicas, e sem a possibilidade de uma explicação mais sucinta.

Tal definição se originou em seus estudos sobre sistemas computacionais, especificamente os autômatos celulares, onde padrões complexos surgem de maneira surpreendente a partir de regras simples. Parece óbvio que em um computador digital não pode ocorrer emergência forte, já que tudo o que ocorre na tela do computador é redutível a pixels separados, codificados por registros de memória individuais e separados. Emergência fraca se refere, neste contexto artificial, àqueles padrões que não podem ser calculados por um programa menor do que aquele de simulou o próprio padrão, segundo a definição de complexidade algorítmica de Solomonoff-Kolmogorov-Chaitin (21).

Para concluir, podemos dizer que há um certo acordo entre reducionistas e emergentistas a respeito dos casos de emergência fraca, havendo um esforço científico para descrever de maneira mais elegante e frutífera a emergência de padrões complexos. A discordância refere-se aos casos de emergência forte, tanto nas ciências físicas, quanto na biologia, quanto na neurociência/psicologia.

Oswaldo Pessoa Jr. é professor de filosofia da ciência do Departamento de Filosofia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP). Email: opessoa@usp.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mill, J.S. *A system of logic, ratiocinative and inductive*. Londres: J.W. Parker, livro III, cap. VI, pp. 425-36. 1843.
2. Lewes, G.H. *Problems of life and mind*. Vol. 2. Boston: J. Osgood, p. 412. 1875.
3. Pessoa Jr., O. "Duas tradições na sistêmica: holismo organicista e reducionismo separabilista". A sair em: Gonzalez, M.E.Q.; Portela, J.C.; Vecchio, A. (orgs.). *Informação e ação: estudos interdisciplinares*. São Paulo: Cultura Acadêmica/Unesp. 2013.
4. Bernard, C. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: J.-B. Baillière, parte II, cap. II, § 1, p. 158. 1865.
5. Healey, R. "Holism and non-separability in physics". *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Em: <http://plato.stanford.edu/entries/physics-holism/>. 2008.
6. Morgan, C.L. *Emergent evolution*. Londres: Williams & Norgate. 1923.
7. Blitz, D. *Emergent evolution*. Dordrecht: Kluwer. 1992.
8. Meehl, P.E.; Sellars, W. "The concept of emergence". In: Feigl, H.; Scriven, M. (orgs.). *The foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 1. Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 239-52. 1956.
9. Lestienne, R. "Emergência e o problema mente-corpo nos estudos de Roger Sperry". Neste volume. 2013.
10. Beckermann, A.; Flohr, H.; Kim, J. (orgs.) *Emergence or reduction?* Berlin: W. de Gruyter. 1992.
11. Bedau, M.A.; Humphreys, P. (orgs.) *Emergence: contemporary readings in philosophy of science*. Cambridge (MA): MIT Press. 2008.
12. Gatti, F.G.; Pessoa Jr., O. "O debate entre as interpretações reducionista e emergentista da física". In: Silva, C.C.; Salvatico, L. (orgs.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: seleção de trabalhos do 7º encontro da AFHIC*. Porto Alegre: Entrementes, pp. 93-101. 2012.
13. Stephan, A. "Emergence: a systematic view on its historical facets". In: Beckerman et al., op. cit. (nota 10), pp. 25-48. 1992.
14. Stephan, A. "Varieties of emergentism". *Evolution and cognition*, vol. 5, pp. 49-59. 1999.
15. El-Hani, C.N.; Pihlström, S. "Emergence theories and pragmatic realism". *Essays in Philosophy*, vol. 3, nº 2, artigo 3. 2002.
16. Laughlin, R.B.; Pines, D. (2000), "The theory of everything". *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 97, p. 28-31. 2000. Republicado em Bedau & Humphreys, op. cit. (nota 11), pp. 259-68.
17. Bedau, M. "Downward causation and autonomy in weak emergence". *Principia*, vol. 6, p. 5-50. 2003. Republicado em Bedau & Humphreys, op. cit. (nota 11), pp. 155-88.
18. Okasha, S. *Evolution and the levels of selection*. Oxford: Oxford University Press. 2006.
19. Kim, J. "'Downward causation' in emergentism and nonreductive physicalism". In: Beckerman et al., op. cit. (nota 10), pp. 119-38. 1992.
20. Bedau, M. "Is weak emergence just in the mind?". *Minds & Machines*, vol. 18, pp. 443-59.
21. Meu primeiro contato com o tema deste artigo ocorreu durante a orientação da dissertação de mestrado de Marcos Antonio Ribeiro, feita em co-orientação com Charbel El-Hani. Ver: Ribeiro, M.A. "Uma análise histórico-filosófica do conceito de emergência". Dissertação de mestrado, área de ensino, filosofia e história das ciências. Salvador: UFBA/UEFS. 2003.

GENÔMICA E MODULARIDADE MORFOLÓGICA: COMO GENES ESPECTADORES, SINTENIA GENÔMICA E ARRASTAMENTO CONSTROEM E RESTRINGEM OPÇÕES EVOLUTIVAS EMERGENTES

Michael Crawford
Tradução de Germana Barata

Tenho dois pequenos embriões em espírito, para os quais esqueci de anotar os nomes, e não sou muito capaz de determinar a qual classe eles pertencem. Eles poderiam ser lagartos, pequenos pássaros, ou ser mamíferos muito jovens. O desenvolvimento da cabeça e do tronco nesses animais é tão parecida. As extremidades ainda não estão presentes nesses embriões. Mesmo que elas estivessem presentes nos primeiros estágios de desenvolvimento, elas não ensinariam nada já que as patas dos lagartos e mamíferos em desenvolvimento, as asas e patas das aves, como as mãos e pés das pessoas, possuem a mesma forma básica.

Karl Ernst von Baer (1828)

Em 1979, Gould e Lewontin defenderam uma visão menos reducionista da evolução (1). Eles argumentaram que as teorias dominantes, aquelas que eram centradas no gene (neodarwinistas), colocaram ênfase indevida sobre as características individuais. Eles sugeriram que tais abordagens tendiam a confundir as consequências indiretas das decisões arquitetônicas com a característica sobre a qual a seleção natural realmente operava. Além disso, eles argumentaram que a "bagagem" de traços ancestrais reduzia a latitude disponível para a inovação morfológica. Este argumento foi posteriormente ampliado por Gould (2). Os recentes avanços na biologia genética faz com que valha a pena rever esse argumento.

Por exemplo, fica claro que as sequências reguladoras de DNA altamente conservadas do genoma se juntam em blocos maiores de regulação que podem expandir-se para englobar diversos genes. Essa tendência enfatiza o grau no qual a herança ancestral desempenha um papel em direcionar e restringir a genética que sustenta a embriogênese e a evolução, respectivamente. Os esforços recentes de sequenciamento indicaram que há um grande número de RNA que são transcritos mas não traduzidos, mas que desempenham um papel na regulação da atividade do gene. Muitos deles são transcritos de forma coordenada a partir de sequências que estão próximas a genes importantes. Juntas, essas descobertas sugerem que uma revisão da evolução, dentro do paradigma e da crítica de Gould e Lewontin, poderia revelar-se útil para iluminar como a modularidade do genoma tornou-se uma propriedade emergente que trabalha sobre a embriogênese e a evolução. Neste artigo, vamos resumir o sucesso do reducionismo, especialmente na definição das operações moleculares que regulam os genes, as células e os tecidos durante a formação do embrião. Nós, então, nos debruçaremos sobre

algumas das tentativas mais recentes, holísticas baseadas na fenomenologia, para que grandes conjuntos de dados façam sentido.

Gould e Lewontin usaram uma metáfora poderosa para explicar sua crítica à visão de evolução e desenvolvimento reducionista e centrada no gene (1). A título de exemplo, eles citaram os “rins” (ou, talvez mais corretamente os pendentes) da basílica veneziana de São Marco (Fig. 1). Quando os arquitetos da igreja montaram uma cúpula sobre uma matriz quadrada de arcos de sustentação, havia lacunas deixadas para preencher os cantos. O preenchimento, o qual Gould e Lewontin erroneamente denominaram rins, ocupou, e, em seguida, decorou os espaços nos quais a cúpula não poderia facilmente atingir os cantos quadrados. Uma vez que essas fusões de canto da cúpula tinha sido instaladas e decoradas, impuseram um motivo quadrangular sobre o teto: hipoteticamente, a cúpula poderia ter recebido projetos do mosaico de azulejos que eram 3, 5, 6, 7 ou mais simétricos, no entanto, todas essas opções teriam ressoado mal com os 4 cantos decorados. Com efeito, a decoração e modificação da decisão arquitetônica preliminar – uma cúpula repousada em cima de um quadrado com quatro arcos – estava sendo ditada pelo preenchimento de canto ... o design a posteriori. Em essência, eles argumentaram que pelo menos algumas morfologias poderiam ser consideradas como os acidentes indiretos de decisões antepassadas e arquitetônicas mais primárias, e que essas características acidentais poderiam mais tarde ser utilizadas para alterar e informar modificações da estrutura primária.

Além disso, Gould e Lewontin (1979) argumentaram que as decisões preliminares e os rins combinados constituem uma “bagagem” de traços ancestrais que restringem a latitude disponível para a inovação morfológica. Gould elaborou, mais tarde, sobre este tema, para sugerir que as restrições não precisam ser consideradas apenas como uma limitação, mas como um ímpeto fornecedor de uma canalização construtiva para a evolução morfológica (2, p.1032). À luz de recentes tentativas de organizar e dar sentido às grandes quantidades de dados decorrentes dos projetos genoma, sua crítica parece ser particularmente perspicaz.

Durante o período de algumas horas ou dias, a célula única de um novo embrião se desenvolve em uma variedade de tipos de células e tecidos extremamente complexos e que sofrem rápidas mudanças. Em estudos de vertebrados tetrápodes, que tomaremos como exemplo, tem havido uma considerável consternação a respeito do como as morfologias emergem e, principalmente, como é que, apesar de grandes diferenças na forma final e função do corpo, esses diferentes animais, parecem todos passar por um estágio embrionário, no qual eles são muito semelhantes. Essa conservação do processo se tornou conhecida como o estágio filotípico e foi observado pela primeira vez por von Baer (3). Uma das causas principais dessa semelhança reside na conservação de genes ancestrais e suas respectivas redes de sinalização – a chamada “homologia profunda” que subjaz a morfogênese. Resumidamente, independentemente de se estar estudando mosca, rã, peixe ou humanos, os genes semelhantes estão direcionando a formação de órgãos e estruturas análogos. Recentemente, ficou evidente que essas redes de genes homólogos estão sendo ampliadas e implantadas de modo imprevisível e que podem ser reveladas através da reinvenção da maneira para a qual olhamos para os dados. Por

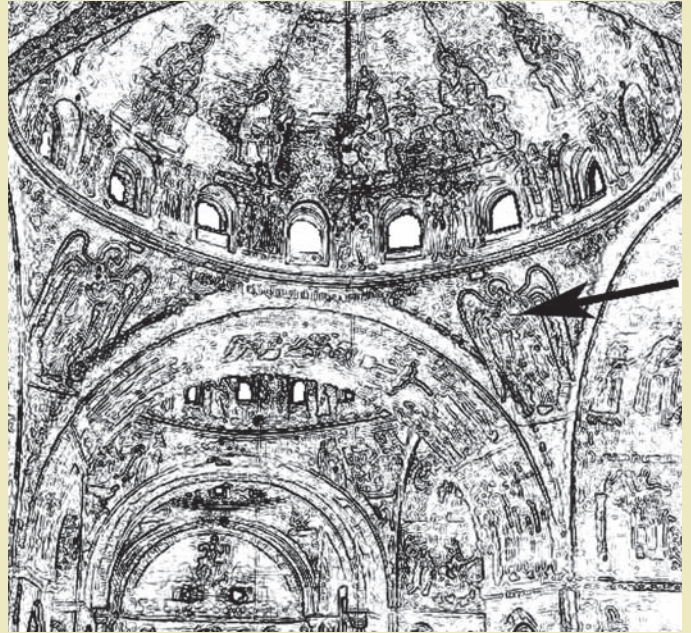


Figura 1 – A Basílica de São Marco em Veneza consiste em uma série de cúpulas que são apoiadas por arcos. Os pendentes (“rins” no texto de Gould e Lewontin) preenchem as reentrâncias dos cantos (seta) onde a estrutura estaria, de outro modo, aberta ao céu. O mosaico dos apóstolos e janelas na cúpula são ordenadas em conformidade com a geometria dos quatro pendentes decorativos

exemplo, uma abordagem recente sobre a caracterização genética, ou seja, a chamada filioestratigrafia paleogenômica tem aumentado a evidência fornecida pela estrutura do grupo de genes *Hox* de que os vertebrados são dotados de um plano genérico e robusto de corpo e sobre o qual as morfologias variantes podem ser construídas.

Vamos discutir como as homologias genéticas, sintenias (blocos de genes preservados em conjuntos ordenados ao longo de cromossomos), sequências repetitivas de DNA (que conferem coerência regulatória para genes dentro desses blocos sintênicos), e a implantação de RNAs transcritos não codificantes, ilustram o grau pelo qual a “bagagem” emerge para desempenhar um papel evolutivamente construtivo. Dois temas vão se desenvolver à medida que revelamos essas descobertas. Em primeiro lugar, as abordagens mais antigas da biologia, predominantes até o século XX e que ganharam proeminência na catalogação de dados e na caracterização de regras operacionais gerais, apresentam relevância renovada. A fenomenologia e abordagens holísticas estão ressurgindo como uma estratégia útil para sobreviver ao ataque de esmagamento de dados reducionistas. Em segundo lugar, a modularidade genômica e funcional é emergente e funciona tanto para constranger quanto para canalizar a inovação morfológica.

A RESSURREIÇÃO DAS ABORDAGENS FENOMENOLÓGICAS Quando os investigadores desmontam e estudam as vias de sinalização genéticas e celulares, eles supõem que uma visão atomística de um sistema, em suma, vai aproximar a realidade do todo. Uma das ironias desta

abordagem reducionista/neo-darwinista das questões biológicas é que seu próprio sucesso criou conjuntos de dados que são grandes demais para compreender como uma sucessão de partes separadas. Por exemplo, uma única via de transdução de sinal (a cadeia de interações moleculares que liga a recepção de um estímulo na superfície da célula a ativadores que alteram o comportamento de genes específicos) pode envolver dezenas de participantes diretos e muitas dezenas de moderadores adicionais. A dinâmica de uma dessas redes de sinalização pode ser muito difícil, tanto para entender como prever porque a cadeia de causa e efeito não é necessariamente linear. Na verdade, quando se considera que várias redes de sinalização diferentes operam dentro de uma única célula e que colidem cada uma com a outra, a escala de integração e complexidade torna-se aparente.

Imagine o que acontece, então, quando essa complexidade ao nível celular é variada através de comunicações e pressões exercidas entre grupos de células e tecidos. A coordenação e a complexidade da sinalização talvez seja mais complexa no embrião em desenvolvimento do que qualquer outro lugar: a fidelidade na qual nossos corpos são construídos é surpreendente, dadas as variações de desafios metabólicos, ambientais e físicos que podem, e vão, surgir. Novas abordagens para lidar com enormes conjuntos de dados foram criadas, e elas caem na categoria geral da fenomenologia. Geralmente imparcial na abordagem, eles procuram revelar normas gerais de funcionamento e padrões, tanto para categorizar genes, famílias de genes e redes, quanto para buscar motivos repetidos em sequências de DNA, ou através do sequenciamento e comparação de RNAs transcritos em contextos celulares diferentes.

FILOESTRATIGRAFIA Ovos e zigotos (i.e., embriões recentes fertilizados e em divisão), como morfologia de adultos, assumem diversas formas, tamanhos e estratégias de sobrevivência, mas em algum momento eles passam por uma fase em que compartilham semelhanças significativas (3). Haeckel expandiu o estudo dessa homologia morfológica surpreendente para estabelecer as bases para suas teorias da recapitulação (4). Não obstante as críticas feitas por seus contemporâneos (e desde então) acerca da exatidão de suas descrições, um elemento de verdade permanece na disputa de Haeckel que, em algum momento, todos os embriões vertebrados passam por estágios de desenvolvimento, onde se parecem, para o olho destreinado, praticamente idênticos (Figura 2). Por que uma tartaruga, pintinho, cachorro ou embrião humano parecem tão semelhantes em uma determinada fase de desenvolvimento? Qual é a razão e importância desse gargalo de similaridade no projeto de corpo? Será, como Haeckel sugeriu, que “ontogenia é uma repetição curta e rápida da filogenia”, ou, em outras palavras, que o desenvolvimento de um embrião tende a recapitular sua história evolutiva (5)? O argumento de Gould e Lewontin sugere que a “bagagem” de herança evolutiva oferece esse plano básico de corpo, mas também que a bagagem impõe limites sobre as inovações morfológicas que podem surgir. Pela mesma razão que a morfologia dessa fase do embrião é conservada no filo, é referida como a etapa *filotípica* (6). O plano genérico do corpo que se estabelece durante esse processo é criado por um programa de desdobramento da expressão do gene, o *zootipo* (7).



Figura 2 - Comparação dos embriões de quatro espécies diferentes de vertebrados, em várias etapas dos seus desenvolvimentos. Segundo os desenhos de Ernst Haeckel, que os publicou em seu livro *Natürliche Schöpfungsgeschichte*, em 1868

Uma encarnação mais moderna de filotipo define o fenômeno não tanto quanto um ponto discreto no desenvolvimento, mas como uma sucessão ordenada de fases ao longo do tempo— um *processo* conservado descrito em ressonância direta com Haeckel (8; 9).

Uma análise imaginativa das categorias de genes expressos ao longo da vida de um organismo foi realizada recentemente (10-12). Cada espécie de gene ativo foi pesquisada e comparada com o banco de dados Genbank e, em seguida, caracterizada com relação a quando, ao longo da evolução, o seu gene parente mais próximo apareceu pela primeira vez. Para cada estágio de desenvolvimento, a idade evolutiva de produtos de genes ativos (transcrições de RNA) identificados poderia ser indexada e uma avaliação derivada para descrever a idade média da evolução dos genes e redes em jogo (denominado filoestratigrafia). Não surpreendentemente, características recentemente adquiridas, aquelas que emergem para explorar oportunidades ambientais específicas, tendem a implantar genes novos. A penetração e dominação de novos nichos ecológicos requer estratégias que afetam a reprodução e fecundação, ou que afetam morfologias e comportamentos juvenil/adulto. Por outro lado, as redes de genes mais antigas são implantadas ao mesmo tempo que os embriões passam pelo gargalo do filotipo. Em outras palavras, um gene de expressão zootipo impulsiona o filotipo morfológico, e incorpora uma montagem antiga e conservada de genes e redes reguladoras. Mas o que mantém esses genes, redes e processos tão resistentes à mudança?

HOMOLOGIA PROFUNDA: A RETENÇÃO DE GENES ANTIGOS E REDES DE GENES PARA AGENDAR O DESENVOLVIMENTO Os genomas de vertebrados e, de fato, de todos os animais compartilham enormes semelhanças: os números e famílias de genes representados, sur-

preendentemente, pouco diferencia os seres humanos de vermes ou esponjas. Um exemplo de semelhança comumente citado se manifesta na estrutura do tipo câmara dos olhos entre cefalópodes (polvo e lula), vertebrados e cnidária (água-viva). Essas estruturas se desenvolvem por meios profundamente diferentes, no entanto, durante a padronização, eles constroem órgãos muito semelhantes e implantam genes semelhantes e redes de sinalização, incluindo *Opsin*, *Cristalinos*, *Pax*, *Mitf*, *Six3* e outros (13-16).

Entre os vertebrados, existem correlações genéticas para o plano do corpo conservado identificado desde o início de 1800. Por exemplo, os vertebrados partilham de um conjunto de ferramentas de genes comuns a outros animais: estes estão contidos dentro das sequências de DNA longas, de aproximadamente 100 mil nucleotídeos, que compõem grupos de cerca de 13 genes *Hox* que especificam a identidade dos segmentos ou vértebras. Os genes foram secundariamente reimplantados para desempenhar um papel na padronização dos membros em tetrápodes (17). Ao longo do eixo dorsal, os genes *Hox* são acionados na mesma ordem em que são dispostos no cromossomo, e que progressivamente definem os domínios posteriores do embrião. A modulação da regulação do gene *Hox* é identificada como uma característica subjacente de inovação morfológica (18), e isto é corroborado pelos fenótipos atávicos (regressos evolutivos) de alguns ratos *Hox* mutantes: mutantes podem exibir estruturas do ouvido médio apropriadas aos ancestrais reptilianos, ou eles podem exibir vértebras cervicais no lugar das placas da parte traseira do crânio – adquiridas mais recentemente para conter um cérebro maior (19-25). Essa co-linearidade (26) da localização física do gene e da ordem temporal e espacial da sua expressão é o produto de regulação primorosamente coordenada. As sequências reguladoras para um gene podem ser frequentemente encontradas dentro de um gene vizinho (27), enquanto externamente aos aglomerados de genes (*clusters*) as sequências reguladoras na parte superior direcionam a expressão co-linear durante o desenvolvimento da coluna vertebral, e as sequências na parte inferior direcionam padrões nos brotos dos membros (28). Para tornar a situação ainda mais complexa, fica claro que as transcrições de RNA não-codificantes (ncRNAs) também desempenham um papel na regulação de genes dentro do *cluster*. Em moscas, diferentes ncRNAs podem alterar a atividade do gene alvo, atuando tanto em cis ou trans (exercendo uma influência ao lado ou distante do gene) (revisado em 29). Nos mamíferos, os genes ncRNA que estão embutidos dentro do *cluster Hox* são reguladas de forma coordenada com genes *Hox* específicos, e eles interagem com as proteínas de remodelação de cromatina, ou produzem miRNAs e longos RNAs não-codificantes que regulam as características de transcrição, tradução e epigenética (o empacotamento do DNA e sua atividade) (29; 30).

SINTENIAS E BLOCOS REGULADORES DE GENOMA Todas as características acima mencionadas já devem ter contribuído para a preservação da estrutura, sequência e atividade de vários grupos de genes *Hox* durante escalas de tempo evolutivas: apesar das duplicações de genoma

necessárias para gerar vários *clusters* nos tetrápodes, o elevado grau de interação encaixada e reguladora cruzada, bem como a modularidade de estrutura genômica, tem impedido muito na forma de flexibilidade evolutiva (9; 31). De um modo geral, a conservação da ordem dos genes que é descrita por sintenia (32) provavelmente reflete a necessidade de preservar as estruturas e sequências reguladoras regionais: isso tem implicações interessantes para a montagem de traço(s), a modularidade e a evolução. Eventos de translocação de cromossomos tendem a ser muito raros em comparação a micro-rearranjos, tais como inserções, deleções e inversões, consequentemente as sequências entre os genes podem mudar, mas a ordem linear bruta de genes dentro de segmentos maiores permanece relativamente estática (33). As sequências de DNA não codificantes extremamente conservadas são distribuídas ao longo da extensão de dois milhões ou mais de nucleotídeos, e constituem blocos de regulação do genoma. Por meios ainda não totalmente compreendidos, essas sequências repetitivas ajudam a restringir e regular genes próximos. Blocos regulatórios garantem não apenas que os genes de desenvolvimento e mitóticos sejam bem coordenados, independentemente da locação onde residem dentro da região, mas também que eles sejam altamente resistentes a

amplas mutações substantivas. Na verdade, blocos regulatórios de genoma podem estar subjacentes à sintenia genômica (34). Até mesmo os resquícios de exons (as sequências de DNA que são transcritas em mRNA), há tempos removidos de seu gene hospedeiro por duplicação mutacional ou eventos de translocação, mantêm a conservação da ordem das sequências se eles residem dentro dos blocos regulatórios do genoma (35). Da mesma forma, os desertos de genes adjacentes e genes espectadores se juntam para o percurso – sintenia e modularidade resultam. Em certo sentido, as regiões repetitivas se ligam a genes vizinhos como se fossem

vagões de um trem, no qual eles se tornam ativos como uma tropa. Pertinente a essa discussão, muitos dos principais atores do desenvolvimento do olho de vertebrados, como os genes *Rax1*, *Pax6* e *Six3*, estão imersos dentro de regiões ricas em elementos não codificantes altamente conservados – existe uma esclarecedora utilidade baseada na internet voltada para a identificação de potenciais loci espectadores neste contexto: <http://ancora.genereg.net> (36). Por exemplo, onde os elementos não codificantes altamente conservados ao redor de *Pax6* são particularmente ricos, eles englobam outros oito genes, os quais são expressos, pelo menos, nos olhos e no cérebro. Alguns desses genes espectadores estão associados a mutações oculares (*WT1*, *ELP4*, *MPPED2*). Dito isto, seria preciso ter cuidado em diferenciar os efeitos de mutações associadas a esses genes dos efeitos que suas interrupções possam ter sobre o comportamento regulador de todo o domínio. Isso seria tecnicamente desafiador, porém resolúvel, e poderia ajudar a elucidar a extensão em que esses tímpanos genéticos podem agora influenciar a estrutura maior.

EMERGÊNCIA DE MODULARIDADE GENÔMICA E FUNCIONAL No contexto de agrupamentos de genes sintênicos e blocos de genes regula-

**OS GENOMAS
DE TODOS OS
ANIMAIS
COMPARTILHAM
ENORMES
SEMELHANÇAS**

tórios, a transmissão e carregamento de genes “espectadores”, tanto em termos de ligação física quanto da expressão de comportamento, sugere um mecanismo pelo qual a fixação de um traço pode indiretamente comissionar outro. Genes espectadores são aqueles que, como os genes de colágeno fibrilar adjacentes a grupos de genes *Hox*, são capturados e fixados por restrições regulatórias (cis) em um bloco sintênico. Inicialmente, é provável que os genes espectadores sejam os turistas acidentais de eventos de duplicação ou transposição, mas, no final, passam a desempenhar um novo papel. Vamos examinar, posteriormente, os colágenos fibrilares com mais profundidade. Vou argumentar que esses genes espectadores são como os pendentes de San Marco, e devem ser examinados mais de perto como influências sobre a elaboração da arquitetura dos vertebrados. Quanto mais genes espectadores estiverem envolvidos, e a sentença estiver consolidada, a modularidade genômica emergente predisporá sistemas para oferecer soluções similares, embora complexas, para os desafios evolutivos. A modularidade pode explicar o quanto animais surpreendentemente diferentes desenvolvem soluções quase idênticas para problemas evolutivos (evolução convergente) através da montagem e reimplantação desses espectadores de bagagem genômica.

A conservação dos blocos sintênicos através da aquisição/evolução de características dispersas não codificantes reguladoras garante tanto a estabilidade, quanto a funcionalidade modular dos genes envelopados. É uma característica interessante da arquitetura biológica que a expansão evolutiva de sequências não codificantes reguladoras força genes vizinhos capturados a expressar padrões semelhantes aos genes que já ocorrem naquele domínio. Um trabalho recente sugere que quanto mais nós de sinalização se formam em uma rede, o número de pontos de controle necessários para limitá-los e direcioná-los, na verdade, diminui (37). Embora seja contra-intuitivo, redes simples, paradoxalmente, exigem mais pontos de controle. Lentamente, enquanto o aparelho de regulação e interação expande-se para incluir mais parceiros, o sistema torna-se mais simples de controlar. Os genes espectadores, situados como estão em um bloco de elementos de regulação em consolidação e ampliação, são cooptados para desempenhar um novo papel: eles enriquecem a agenda que o gene fundador e contexto regulatório originalmente direcionaram. Em pouco tempo, o “espectador” é um jogador, e sua atividade e regulação retroalimentam o todo – um conjunto mais rico de interações emerge para direcionar e construir tecidos, órgãos e processos. A atividade modular da unidade garante que um repertório de ciclos regulatórios e as morfologias consequentes são robustos, mas essa tendência de modular também impõe restrições sobre o panorama das variações do plano corporal, mesmo para filogenias divergentes. No caso de genes *Hox*, a cooptação de genes de colágeno fibrilar adjacentes para ativar-se, posteriormente, em locais e tempos semelhantes, poderia ter ajudado os antecedentes de vertebrados a transformar-se, a partir de organismos simples segmentados, para organismos com uma coluna vertebral óssea.

Colágenos fibrilares são essenciais para a diferenciação do osso, e o ancestral comum mais antigo da versão dos colágenos fibrilares de vertebrados começou a se desenvolver no momento em que o esqueleto vertebrado surgiu, e antes de um evento de duplicação do genoma inteiro (38). Os clusters *Hox*, possivelmente como consequência de suas

sequências reguladoras a montante ou a jusante, estão organizados em blocos sintênicos compreendendo 19 a 21 genes que residem juntos em vários dos genomas analisados. Entre eles, um grande número de membros do colágeno fibrilar de clade “A” (39). Acredita-se que esses genes de colágeno compartilham os eventos de duplicação do genoma e uma história de arrastamento com seus grupos de genes *Hox* vizinhos (40). Em um sentido prático, sua localização dentro de um domínio regulatório essencial para a função do grupo ancestral *Hox* preservou sua ligação física. Como resultado dessa ligação, o seu comportamento também ficou sujeito a influências reguladoras vizinhas: o tempo e padrão espacial de expressão gênica do colágeno fibrilar, acredita-se que deve ter sido ligada ao comportamento do agrupamento gênico *Hox* (40). Propõem-se que a presença das duas famílias de genes em blocos sintênicos desempenham um papel na evolução do esqueleto dos vertebrados: em um antepassado distante, os complexos de *Hox* subdividiram o organismo em segmentos discretos, e a subsequente duplicação do genoma completo permitiu que os genes de colágeno adjacentes tivessem uma latitude suficiente para divergir estrutural e funcionalmente e, em seguida, fazer a nucleação da matriz extracelular das células condrogênicas (células de cartilagem). Essas células condrogênicas que expressam colágeno são presumivelmente originadas a partir de uma população ancestral que emergiu da notocorda, onde tanto as famílias do gene *Hox* e do gene colágeno expressam-se (41; 42) e, posteriormente, as identidades segmentares traduziram-se em características morfológicas ossificadas, ou seja, as vértebras.

Pode ser de suma importância compreender até que ponto os blocos regulatórios dos genes expandem ou contraem em filões diversificados uma vez que isso nos dá alguns *insights* sobre a importância evolutiva de arrastamento genômico. Para este fim, uma análise de filoestratigrafia de blocos regulatórios do genoma poderia revelar-se útil. Por exemplo, os genes que transmitem características particularmente valiosas e que são fixadas no início da evolução poderiam atuar como centros de nucleação para blocos regulatórios genômicos emergentes. Até que ponto, ao longo da história evolutiva, elementos reguladores não codificantes e altamente conservados, que se avizinham a esses genes críticos, eventualmente se expandiram para abarcar as regiões vizinhas? Considerando o exemplo de órgãos sensíveis à luz já descritos acima, os genes homólogos *Pax6* conservados sugerem que o desenvolvimento da visão apenas envolveu arrastamento regulatório e modularização genômica/funcional. Valeria a pena selecionar uma dúzia ou mais de genes importantes para o desenvolvimento e repetir o exercício usando genomas de organismos relacionados de maneira mais distante. Uma investigação para avaliar o papel da modularidade genética em expansão na evolução do plano corporal deveria questionar: será que os blocos sintênicos ao redor de genes importantes, especialmente genes que são fundamentais para a sinalização de nodos, expandem para abranger genes vizinhos úteis (re)implantados?

A MODULARIDADE EMERGENTE AUMENTA A COMPLEXIDADE ENQUANTO RESTRINGE O REPERTÓRIO MORFOLÓGICO Como podemos ver, vários mecanismos estão entrando em cena para tornar modulares o genoma: genes vizinhos estão agrupados em grupos sintênicos que permanecem intactos ao longo de períodos evolutivos significativos. Não apenas

os genes são ligados fisicamente, mas também são incorporados em redes reguladoras resistentes à mudança. Além disso, os genes dentro de um *cluster* podem compartilhar elementos reguladores e ser ativos em tecidos semelhantes e em períodos semelhantes. Esses atributos têm duas consequências. Em primeiro lugar, como previsto por Gould (2), as limitações impostas por essa modularidade ajudam a canalizar a direção da mudança evolutiva. Eles podem dar uma aparência superficial de uma teleologia evolutiva. Em segundo lugar, quando os traços e os genes são reunidos em suítes modulares, os traços produzem morfologias mais complexas, mas o repertório de suítes disponíveis para implantação é limitado. Por exemplo, a sintenia de genes de fatores de crescimento, como o *FGF3*, 4 e 19 em carnívoros poderia servir como um exemplo. Esses genes se combinam para regular aspectos da morfologia dos membros, da audição, da função da vesícula biliar, e do tamanho do dente canino. Talvez haja uma razão para a qual morfologias corporais semelhantes surjam em carnívoros terrestres tão díspares como os gatos, cachorros e o tilacino marsupial (o chamado tigre da Tasmânia). Será que a modulação do *FGF4* é necessária para um forte desenvolvimento dos membros traseiros ligados às alterações na função *FGF3* que são necessárias para o crescimento do dente canino (43; 44)? Será que a atividade do *FGF19* é necessária para a vesícula biliar e para a função do esfíncter, ligada aos hábitos alimentares intermitentes e aos constrangimentos morfológicos desses carnívoros (45; 46)? Valeria a pena verificar se as marcas de blocos de regulação do genoma e circuitos reguladores não codificantes de RNA estão presentes nessas três classes e famílias diferentes de mamíferos. A aglomeração emergente de genes e processos genéticos de desenvolvimento em módulos funcionais podem acabar provocando mais ímpeto e constrangimentos às “homologias profundas” do que se acreditava anteriormente.

Michael Crawford é doutor pela Universidade de Toronto, concluiu seus estudos de pós-doutorado na Universidade McGill e no Instituto de Pesquisas Clínicas de Montreal. Atualmente é professor associado do Departamento de Ciências Biológicas, da Universidade de Windsor, no Canadá, e recebeu apoio do Conselho de Pesquisa em Ciências Naturais e Engenharia (NSERC) do Canadá.

NOTAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. S. J. Gould; R. C. Lewontin, *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 205, 581 (1979).
2. S. J. Gould, *The structure of evolutionary theory*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2002, pp. xxii, 1433 p.
3. K. E. v. Baer, *Über Entwicklungsgeschichte der Thiere Beobachtung und Reflexion*. (Den Gebrüdern Bornträger, Königsberg, 1828).
4. E. H. P. A. Haeckel, *Generelle morphologie der organismen allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft: mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie.*, (G. Reimer., Berlin 1866).
5. L. W. Swan, *BioScience* 40, 376 (1990).
6. K. Sander, in *Development and evolution*, B. C. Goodwin, N. Holder, C. C. Wylie, Eds. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire; New York, 1983, pp. 137-159.
7. J. M. Slack; P. W. Holland; C. F. Graham. *Nature*, 361, 490 (Feb 11, 1993).
8. P. Alberch, M. J. Blanco, *Int. J. Dev. Biol.*, 40, 845 (Aug, 1996).
9. D. Duboule. *Dev. Suppl.*, 135 (1994).
10. T. Domazet-Loso; J. Brajkovic; D. Tautz. *Trends Genet.*, 23, 533 (Nov, 2007).
11. T. Domazet-Loso; D. Tautz. *Genome Res.*, 13, 2213 (Oct, 2003).
12. T. Domazet-Loso; D. Tautz. *Nature*, 468, 815 (Dec 9, 2010).
13. Z. Kozmik et al. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 105, 8989 (Jul 1, 2008).
14. Z. Kozmik et al. *Dev. Cell.*, 5, 773 (Nov, 2003).
15. S. I. Tomarev. *Int. J. Dev. Biol.*, 41, 835 (Dec, 1997).
16. S. I. Tomarev et al. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 94, 2421 (Mar 18, 1997).
17. J. Zakany; D. Duboule. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 17, 359 (Aug, 2007).
18. F. H. Ruddle et al. *Ann. NY Acad. Sci.*, 870, 238 (May 18, 1999).
19. B. K. Hall. *Nat. Genet.*, 10, 126 (1995).
20. F. M. Rijli; P. Dolle; V. Fraulob; M. LeMeur; P. Chambon. *Dev. Dyn.*, 201, 366 (1994).
21. F. M. Rijli et al. *Cell*, 75, 1333 (1993).
22. M. Gendron-Maguire; M. Mallo; M. Zhang; T. Gridley. *Cell*, 75, 1317 (1993).
23. M. Kessel; R. Balling; P. Gruss. *Cell*, 61, 301 (1990).
24. G. S. B. Horan et al., in *Mouse Molecular Genetics*. Cold Spring Harbor, New York, 1994.
25. B. G. Condie; M. R. Capecchi. *Development*, 119, 579 (1993).
26. Co-linearidade é o termo técnico usado para descrever como a distribuição espacial de genes *Hox* em um cromossomo se reflete também na distribuição espacial de seus respectivos produtos gênicos ao longo da axis antero-posterior do embrião de moscas, bem como, adicionalmente, ao tempo de suas atividades em vertebrados.
27. D. Duboule. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 8, 514 (Oct, 1998).
28. J. Deschamps. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 17, 422 (Oct, 2007).
29. H. W. Brock; J. W. Hodgson; S. Petruk; A. Mazo. *Biochem. Cell. Biol.*, 87, 27 (Feb, 2009).
30. D. Lemons; W. McGinnis. *Science*, 313, 1918 (Sep 29, 2006).
31. D. Duboule. *Development*, 134, 2549 (Jul, 2007).
32. Sintenia é a preservação da ordem linear de genes ao longo dos segmentos cromossômicos que são adquiridos de um ancestral comum e que são compartilhados por espécies diferentes. Embora o número, tamanho, e orientação dos cromossomos possa variar entre diferentes espécies, os sub-domínios permanecem de serem comparados diretamente.
33. H. Kikuta et al., *Genome Res* 17, 545 (May, 2007).
34. P. G. Engstrom; S. J. Ho Sui; O. Drivenes; T. S. Becker; B. Lenhard. *Genome Res.* 17, 1898 (Dec, 2007).
35. X. Dong et al. *Nucleic Acids Res.*, 38, 1071 (Mar, 2010).
36. P. G. Engstrom; D. Fredman; B. Lenhard. *Genome Biol.*, 9, R34 (2008).
37. Y. Y. Liu; J. J. Slotine; A. L. Barabasi. *Nature*, 473, 167 (May 12, 2011).
38. R. P. Boot-Handford; D. S. Tuckwell. *Bioessays*, 25, 142 (Feb, 2003).
39. A. P. Lee; E. G. Koh; A. Tay; S. Brenner; B. Venkatesh. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 103, 6994 (May 2, 2006).
40. W. J. Bailey; J. Kim; G. P. Wagner; F. H. Ruddle. *Mol. Biol. Evol.*, 14, 843 (Aug, 1997).
41. G. Zhang; M. J. Cohn. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 18, 387 (Aug, 2008).
42. V. E. Prince; A. L. Price; R. K. Ho, *Dev Genes Evol* 208, 517 (Nov, 1998).
43. H. G. Parker et al., *Science* 325, 995 (Aug 21, 2009).
44. C. Y. Gregory-Evans et al., *Hum Mol Genet* 16, 2482 (Oct 15, 2007).
45. F. W. Gorham, A. C. Ivy, *General function of the gall bladder from the evolutionary standpoint*. (Chicago, 1938), pp. 1 p.l., p.
46. M. Choi et al., *Nat Med* 12, 1253 (Nov, 2006).

A EMERGÊNCIA NA FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA E AS QUEBRAS ESPONTÂNEAS DE SIMETRIA

Eduardo Miranda

Considere uma garrafa de vinho que repousa de pé em uma mesa. O fundo da garrafa é mais alto no meio do que nas bordas e apenas estas estão em contato com a superfície da mesa. É praticamente impossível equilibrar uma pequena bola de gude dentro da garrafa no ponto central do seu fundo. Se tentarmos fazê-lo, a bola certamente rolará para a posição mais baixa das bordas, onde ela finalmente repousará. Se formos extremamente cuidadosos em posicionar a bola exatamente no centro, não saberemos prever em que direção ela rolará nem onde terminará. O formato do fundo é perfeitamente simétrico e não favorece nenhuma direção em particular, todas são equivalentes. No entanto, a bolinha irá “escolher” uma direção para rolar entre todas aquelas disponíveis (1). Se descrevemos as diversas direções pelos pontos cardeais, sabemos que a posição final da bola de gude pode apontar para o norte ou para o sul, para sudoeste ou nordeste, de fato para qualquer direção. Esse exemplo mostra de maneira quase banal o fenômeno que os físicos chamam de “quebra espontânea de simetria”. A simetria está no fato de que todas as posições das bordas que tocam a mesa são equivalentes, não havendo preferência por nenhuma delas em particular. Essa simetria, no entanto, não é refletida na posição final de equilíbrio da bola de gude, que irá sempre estacionar em uma direção muito bem definida, por exemplo noroeste. A simetria da garrafa foi quebrada pela posição final de equilíbrio da bolinha. Embora ilustrada aqui num contexto cotidiano, a quebra espontânea de simetria é um das manifestações mais importantes do comportamento emergente da matéria.

Uma propriedade é chamada de emergente se ela só ocorre quando há um número muito grande de partículas envolvidas. Aprendemos na escola que a matéria se apresenta em três fases distintas: gás, líquido ou sólido. O comportamento da matéria é, na verdade, muito mais rico do que essa classificação sugere, mas vamos aceitar provisoriamente essa simplificação útil. Tome a água, por exemplo, que pode se apresentar como líquida, como vapor d’água ou como gelo. Podemos nos perguntar em que fase se encontra uma única molécula de água. A resposta correta é que a pergunta não faz sentido quando formulada a respeito de uma molécula individual. Na verdade, essas três fases da matéria só ganham algum sentido quando falamos de uma quantidade macroscópica (2) de moléculas de água: é uma propriedade emergente. Apenas nesse caso podemos observar que o vapor d’água ocupa todo o espaço do recipiente que o contém (característica de um gás), ou que a água “molha” as superfícies que ela toca (propriedade dos líquidos), ou ainda que o gelo apresenta a rigidez típica de um sólido.

A natureza é pródiga na diversidade das propriedades emergentes. Cada uma delas é caracterizada por um comportamento macroscópico bem definido e único. Listemos algumas delas juntamente com algumas de suas propriedades mais distintas:

1. Os magnetos (como os ímãs de geladeira ou a própria Terra), que apresentam polos magnéticos bem definidos (chamados comumente de Norte ou Sul).
2. Os superfluidos (como o elemento Hélio quando resfriado a baixas temperaturas), que podem fluir por tubos estreitos sem nenhuma resistência (ou seja, têm viscosidade zero) e têm condutividade térmica infinita (são condutores perfeitos de calor).
3. Os supercondutores (como alguns compostos metálicos quando resfriados suficientemente), que conduzem corrente elétrica sem nenhuma perda de energia (em outras palavras, tem resistência elétrica exatamente igual a zero) e expulsam completamente os campos magnéticos (o que pode ser usado para “levitar” magnetos).
4. A própria matéria sólida, cujos átomos apresentam uma estrutura periódica que chamamos de cristal (com exceção dos vidros, que não têm essa ordem periódica interna).
5. Os cristais líquidos, que estão por trás da operação das telas LCD (*Liquid Crystal Display*) de nossos computadores, televisores e celulares. Os cristais líquidos têm a propriedade de fluir como os líquidos convencionais, mas, diferentemente destes, as compridas moléculas daqueles se orientam em direções preferenciais (quebrando a simetria de orientação espacial). As próprias membranas celulares também são exemplos de cristais líquidos.

Como quebras espontâneas de simetria e outras propriedades emergentes são geralmente acompanhadas do aparecimento de propriedades bastante não usuais das substâncias, existe um grande potencial para aplicações tecnológicas desses fenômenos. A explosão da capacidade de armazenamento de dados digitais observada nos últimos 30 anos foi consequência da descoberta de um efeito ligado aos estados dos magnetos já mencionados (a chamada magnetorresistência gigante). Já mencionamos também as telas LCD. A lista de aplicações é grande e tende a aumentar à medida que novas descobertas são feitas.

A utilidade da formação de padrões altamente simétricos não foi desprezada pela natureza na evolução dos seres vivos. A diversidade impressionante das cores das asas iridescentes dos besouros foi o resultado, ao que tudo indica, de grandes pressões evolutivas ao longo da história de sua diferenciação. Essas cores são o resultado da reflexão da luz incidente por arranjos ordenados das mais diversas maneiras e presentes nas asas desses insetos (3). Esses chamados cristais fotônicos, descobertos e estudados intensamente pelos cientistas nos últimos anos, apareceram espontaneamente na história evolutiva.

Nem todo comportamento emergente está associado a uma quebra espontânea de simetria. Entretanto, cada uma das fases de matéria da lista acima (e muitas outras) está associada com uma quebra espontânea de simetria. Em alguns casos, descobrir qual simetria foi quebrada representou o passo crucial para o entendimento do fenômeno observado. Isso foi especialmente dramático no caso da

supercondutividade: sua descoberta experimental ocorreu em 1911, mas a natureza da simetria quebrada e a explicação completa do fenômeno só vieram a ser elucidadas em 1957!

É interessante tentar entender como quebras espontâneas de simetria ocorrem na prática. Considere uma substância qualquer em sua fase líquida a uma certa temperatura e pressão. Suas moléculas não têm nenhum arranjo espacial preferencial e podem ocupar qualquer posição na região ocupada pelo líquido. A ausência de posições privilegiadas é uma simetria do sistema no seu estado líquido. Tentando raciocinar por analogia com a bolinha de gude no interior da garrafa de vinho, podemos pensar que a agitação térmica mantém a bolinha em constante movimento e ela nunca consegue ficar parada numa posição fixa. À medida que abaixamos a temperatura, o líquido tornar-se-á sólido. Nesse momento, cada molécula da substância ficará “congelada” numa posição espacial bem definida e o arranjo de todas as moléculas será, na maioria das vezes, um arranjo periódico cristalino. Isso acontece porque (i) um arranjo periódico representa a situação de mais baixo custo energético entre todas as disposições espaciais possíveis e (ii) a agitação térmica não é suficientemente grande para manter as moléculas em movimento aleatório e retirá-las das posições fixas. Na competição entre a tendência de ordenamento periódico, que abaixa a energia do sistema, e a tendência à desordem térmica, a primeira sai vencedora. A simetria inicial foi quebrada, pois nem todas as posições são agora possíveis. Essa quebra espontânea de simetria é acompanhada, como sabemos, de mudanças qualitativas no comportamento da substância. Por exemplo, ela deixa de fluir e torna-se rígida. No análogo da bolinha de gude na garrafa de vinho, quando a agitação térmica é suprimida, a bolinha rapidamente encontra sua posição de mais baixa energia nalgum ponto da borda. De fato, todas as quebras espontâneas de simetria da lista de comportamentos emergentes acima ocorre por uma imposição da necessidade de se encontrar uma configuração de energia mais baixa numa situação de pouca agitação térmica.

Como já enfatizado anteriormente, quebras espontâneas de simetria (e outras propriedades emergentes) só ocorrem em um sistema composto por um número grande de partículas ou partes. No caso da solidificação que discutimos, é preciso um grande número de moléculas para que um sistema possa passar de líquido para sólido. Se tivermos apenas um número pequeno de moléculas, a agitação térmica sempre terminará por “chutar” uma molécula para fora de sua posição fixa e o sistema não terá uma estrutura cristalina estável. A questão relevante, do ponto de vista da estabilidade de uma fase com simetria quebrada espontaneamente, é o tempo necessário para a estrutura ser destruída. Se o número de partículas envolvidas é pequeno, esse tempo é muito curto. Aprendemos na escola que a molécula de amônia (NH_3) tem uma estrutura de uma pirâmide de base triangular, com o átomo de nitrogênio no ápice e os três átomos de hidrogênio nos vértices do triângulo da base. Foi-nos ensinado que essa estrutura é estável e não varia com o tem-

po. Essa estrutura apresenta uma simetria quebrada, com os átomos assumindo posições bem definidas no espaço. Na realidade, não é bem assim. Observa-se experimentalmente que o átomo de nitrogênio, na verdade, oscila ao longo do eixo da pirâmide. Se o triângulo formado pelos átomos de hidrogênio estiver num plano horizontal, por exemplo, a pirâmide pode apontar para cima (com o átomo de nitrogênio acima do plano) ou para baixo (com o nitrogênio abaixo do plano). O tempo durante o qual o nitrogênio “permanece” numa das duas posições é da ordem de uns poucos pico-segundos (um pico-segundo é um bilionésimo de segundo) (4). Esse tempo pode parecer muito pequeno mas, para vários processos subatômicos, ele pode ser considerado razoavelmente longo.

À medida que o tamanho do sistema aumenta, entretanto, esse tempo também aumenta. Idealmente, apenas um sistema infinito mantém uma estrutura de simetria quebrada eternamente. Entretanto, na prática, não é necessário um número tão grande de constituintes básicos para que o tempo de destruição da estrutura ordenada já fique maior do que os tempos usuais de observação humana. Em moléculas maiores, constituídas por um grande número de átomos, estes acabam assumindo posições espaciais bem definidas por tempos macroscópicos e, para todos os efeitos práticos, a simetria pode ser considerada como realmente quebrada.

Há alguns exemplos importantes em moléculas biológicas de que a natureza “preferiu” quebrar certas simetrias. Embora várias moléculas da natureza apresentem simetria quiral, isso não é observado em todas elas. A simetria quiral ou de quiralidade existe quando a molécula e sua imagem refletida num espelho podem ser superpostas uma na outra. A molécula de amônia discutida acima tem simetria quiral. Uma mão humana direita tem como imagem especular uma mão esquerda e

esta não pode ser superposta à primeira. As mãos quebram a simetria de quiralidade e por isso são chamadas de quirais, enquanto que a amônia é uma molécula aquiral. De fato, a origem da palavra *quiral* é a palavra grega para *mão*. É possível classificar as moléculas quirais, por referências às mãos, como sendo quirais à direita ou à esquerda.

Como dito, nem toda molécula é aquiral. A forma natural do açúcar é quiral, assim como os aminoácidos, os elementos constituintes das proteínas. Se produzirmos artificialmente essas substâncias no laboratório, a partir de seus elementos constituintes, obteremos uma mistura com quantidades iguais de moléculas quirais à esquerda e à direita. Entretanto, é interessante que praticamente todos os aminoácidos naturais têm a mesma quiralidade (são quirais à esquerda) e o mesmo se aplica aos vários tipos de açúcares (que são quirais à direita). A seleção natural favoreceu a quebra da simetria de quiralidade. Há ainda uma certa controvérsia sobre se essa quebra espontânea de quiralidade observada nos seres vivos foi resultado de puro acaso (seria como a bolinha de gude que é colocada ligeiramente fora do centro por uma flutuação térmica pequena), tendo sido perpetuada no processo de reprodução, ou se foi o resultado da ação de algum agente externo. Um dos candidatos a esse agente externo

**NEM TODO
COMPORTAMENTO
EMERGENTE ESTÁ
ASSOCIADO À
UMA QUEBRA
ESPONTÂNEA DE
SIMETRIA**

seria a luz das estrelas, que é parcialmente polarizada e, portanto, poderia produzir moléculas com quiralidade. Qualquer que seja o caso, é certo que o caráter quiral das proteínas tem um papel relevante em alguns processos biológicos (uma enzima quiral distingue entre dois substratos com quiralidades opostas, mas iguais em todos os outros aspectos).

Podemos ir além e perceber que o próprio código genético, base de toda a vida, envolve de maneira crucial uma quebra de simetria. A sequência bem definida de bases nitrogenadas do código genético (A, C, T ou G) representa uma quebra em relação à situação completamente simétrica, em que as quatro letras se distribuem de forma completamente aleatória (como as moléculas de um líquido ou um gás). A simetria quebrada na sequência do DNA contém a informação genética da vida. A distribuição completamente aleatória das bases não conteria essencialmente nenhuma informação e seria inútil do ponto de vista evolutivo. De fato, pode-se descrever o aparecimento da vida através da seleção natural como uma quebra espontânea da simetria sequencial do DNA. O fato de que essa quebra levou tanto tempo para se fixar e se reproduzir mostra que ela teve que vencer enormes barreiras de “agitação térmica”. Uma vez estabelecida, entretanto, seu tempo de estabilidade tem se mostrado bastante longo. Mas será infinito?

As propriedades emergentes suscitam também questões de natureza filosófica [ver, por exemplo, (5;6)]. Podem-se notar (pelo menos) duas escolas que diferem na visão do caminho a ser seguido na busca do conhecimento científico, principalmente na física. A primeira, chamada de reducionista, privilegia a busca pelos menores elementos que formam o universo conhecido e pelas leis dinâmicas que os regem. Usualmente associada à física das partículas elementares, essa visão tem origem no atomismo filosófico. Sua premissa básica é a suposição de que o universo é formado por um número pequeno de “objetos fundamentais” a partir dos quais todo o resto é formado. No âmbito da física atual, essa visão é consagrada no chamado modelo padrão das partículas elementares e suas interações. Nele, os objetos fundamentais são os quarks (que formam os prótons e nêutrons), os léptons (como os elétrons e neutrinos) e os bósons de “gauge” (como as partículas de luz, os fótons). Esses objetos básicos interagem entre si através de leis que podem ser formuladas de maneira simples. A pesquisa, na visão reducionista, é sempre direcionada na busca por objetos mais básicos (“mais fundamentais”, no jargão) e na formulação de suas leis dinâmicas. Sua forma atual, o modelo padrão, é extremamente bem sucedida, na medida em que descreve com grande precisão praticamente todos os experimentos já realizados para testá-la. Recentemente, a descoberta (a ser ainda confirmada definitivamente) de um dos últimos blocos de construção do modelo padrão, o chamado bóson de Higgs, representou o coroamento desse projeto, que dominou a física de partículas no último século. A fronteira da pesquisa nessa área é dominada pela esperança de se chegar a uma descrição ainda mais básica, mais fundamental, na qual todas as partículas são diferentes manifestações das chamadas

supercordas. Essa teoria é ainda bastante controversa e está longe de alcançar o sucesso do modelo padrão, se é que um dia ainda o fará. No entanto, não se pode negar o grande avanço do conhecimento representado pela visão reducionista da ciência.

Por outro lado, uma outra escola preconiza que, mesmo que conheçamos todas as partículas mais básicas que compõem o universo e suas leis dinâmicas, esse conhecimento pouco ou quase nada nos ajuda no entendimento do comportamento de um conjunto grande desses objetos. Em princípio, por exemplo, o modelo padrão contém todas as informações necessárias para determinar a massa do próton ou do nêutron. Entretanto, estamos longe de conseguirmos realizar esse cálculo de maneira precisa. Estamos mais longe ainda de determinarmos, por exemplo, outras propriedades emergentes da física nuclear, como a energia de formação de núcleos atômicos mais pesados, formados por muitos nêutrons e muitos prótons. Talvez isso nunca se torne possível, pois esse tipo de cálculo pode requerer um poder computacional impossível de ser implementado no universo conhecido. Isso não quer dizer que o modelo padrão esteja errado ou mesmo que seja inútil. O que a escola das “propriedades emergentes” advoga é que em cada escala de energia, novos conceitos

precisam ser descobertos se quisermos descrever as propriedades da natureza. A física nuclear não pode ser derivada do modelo padrão, ela é regida por suas próprias leis e estruturas. As propriedades dos sólidos, líquidos e gases, dos magnetos, dos supercondutores, dos superfluidos e dos cristais líquidos, em toda sua diversidade, também requerem novas ideias e novos conceitos, tão “fundamentais” quanto as partículas do modelo padrão. A química não “está contida” na física, pelo menos não no sentido de que podemos obter as leis da química a partir das leis fundamentais da física. Da mesma forma, a biologia não “está contida”

na química e assim por diante. A cada mudança de escala, novos conhecimentos profundos são necessários para que possamos compreender as diversas manifestações da natureza.

É importante enfatizar que ninguém duvida de que o modelo padrão descreva, provavelmente exatamente, as interações das partículas elementares, ou de que, em princípio, se possam derivar a partir dele os fenômenos da física nuclear, atômica ou da matéria condensada (sólidos e líquidos). A expressão crucial aqui é “em princípio”. Apenas um supercomputador, talvez impossível de ser construído, seria capaz de fazer essa ligação entre as várias escalas. Nossa crença nessa possibilidade “em princípio”, no entanto, repousa na limitada capacidade que temos de fazer algumas ligações simples e aproximadas entre os fenômenos nas diferentes escalas. Há tentativas razoavelmente bem sucedidas de um cálculo aproximado das massas do próton e do nêutron a partir de primeiros princípios (7). Semelhantemente, podemos calcular de maneira ainda bastante primitiva as propriedades de algumas reações químicas muito simples a partir das interações básicas entre os elétrons. Geralmente, esses passos tímidos já consomem muitas horas de computação e qualquer coisa um pouco mais complexa está fora de cogitação. Eles,

**NÃO SE PODE
NEGAR O GRANDE
AVANÇO DO
CONHECIMENTO
REPRESENTADO
PELA VISÃO
REDUCIONISTA
DA CIÊNCIA**

no entanto, nos dão o conforto de saber que a ligação pode ser feita. Pelo menos, “em princípio”.

A visão da ciência que advoga a importância das “propriedades emergentes”, em outras palavras, assume que o todo é muito mais do que a soma de suas partes. O artigo que talvez tenha fundado essa escola, do físico Philip W. Anderson, resumiu e consagrou essa visão no seu título: “Mais é diferente” (8). Não é que o todo não seja equivalente às suas partes (e as interações entre elas). Mas o todo apresenta surpresas no seu comportamento que não podem ser encontradas no exame separado de uma ou poucas de suas partes. Um aglomerado de poucos átomos de nióbio não nos parece ter nada de excepcional. Junte, no entanto, um número grande deles formando um cristal, abaixe sua temperatura e ele será um supercondutor!

Muito ainda está por se construir. Estamos longe de entendermos, ou mesmo conhecermos, todas as formas de quebra espontânea de simetria e suas propriedades emergentes. Em 1986, foram descobertos compostos que se tornam supercondutores a temperaturas bem mais altas que aqueles conhecidos anteriormente. Essas temperaturas ainda estão bem abaixo da temperatura ambiente (as mais altas são em torno de -140°C), mas já representaram um enorme salto e a esperança de se descobrirem supercondutores à temperatura ambiente continua. Desde 1986, várias classes diferentes de compostos supercondutores de “alta temperatura” foram descobertos e a procura prossegue vigorosamente. Ainda não se sabe o que explica esse comportamento e acredita-se que esses novos supercondutores sejam essencialmente diferentes dos antigos. As teorias mais recentes invocam algum tipo ainda não elucidado de quebra espontânea de simetria. Só o tempo trará a resposta definitiva. Vários outros compostos, nem sempre com comportamento tão surpreendente, mas nem por isso menos interessantes, são estudados todos os dias. Acredita-se que o próprio universo, à medida que se resfriou desde o “big bang” até as temperaturas de hoje, passou por algumas transições de fase antes do seu estágio atual. Os prótons e nêutrons, que hoje sabemos serem formados de quarks, não existiam na sopa primordial. Nela, as partículas formadoras dos prótons e nêutrons, os quarks e seus parceiros, os glúons, eram livres para existir como partículas individuais. Isso não é mais possível na atual densidade do universo, mas experimentos em aceleradores atuais, que colidem núcleos atômicos pesados como os do ouro a altíssimas energias, são capazes de criar, por períodos curtíssimos de tempo, esse chamado plasma de quarks e glúons (9). No outro lado do espectro de energia, alguns tipos de átomos são resfriados a temperaturas baixíssimas (da ordem de um milésimo de bilionésimo de grau acima do zero absoluto) e aprisionados em armadilhas magnéticas e/ou ópticas. Nessas condições, algumas das propriedades de líquidos e sólidos macroscópicos, como superfluidez e magnetismo, podem ser criadas e estudadas (10).

O conceito de quebra espontânea de simetria, que perpassa os vários ramos da física, serve como ferramenta de fertilização cruzada do conhecimento. Pode-se estudá-lo num extremo do espectro e obter percepções importantes para o outro. A física atômica ajuda a física da matéria condensada. A física de partículas fertiliza a física nuclear. A teoria das supercordas influencia a produção de

conhecimento na pesquisa dos supercondutores de alta temperatura. O que parece certo é que a visão reducionista, apesar de imprescindível e extremamente bem sucedida, não é suficiente para abarcar todo o empreendimento da busca científica. A cada passo, propriedades emergentes e novas quebras espontâneas de simetria irão nos surpreender.’

Eduardo Miranda é físico, professor titular do Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

NOTAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. É claro que nunca conseguimos posicioná-la exatamente no centro e nem o fundo da garrafa é perfeitamente simétrico. Esses desvios da situação ideal determinam, na prática, a direção “escolhida” pela bolinha.
2. A distinção entre o que é uma quantidade “macroscópica” ou “microscópica” é arbitrária, mas podemos utilizar como definição útil de “macroscópico” um número da ordem um mol (aproximadamente 10^{23}) de moléculas.
3. Pennisi, E. “Diverse crystals account for beetle sheen”. *Science*, v. 341, n. 6142, p. 120. 2013.
4. É importante notar que a oscilação do nitrogênio na amônia não é causada por agitação térmica como nos exemplos anteriores. Nesse caso, são as leis da mecânica quântica que causam a instabilidade da estrutura de simetria quebrada.
5. Castellani, E. “Reductionism, emergence, and effective field theories”. *Studies in history and philosophy of science part B: studies in history and philosophy of modern physics*, v. 33, nº 2, p. 251-267. 2002.
6. Batterman, R. W. “Emergence, singularities, and symmetry breaking”. *Foundations of Physics*, v. 41, nº 6, p. 1031-1050. 2011.
7. Kronfeld, A. S. “The weight of the world is quantum chromodynamics”. *Science*, v. 322, nº 5905, p. 1198-1199. 2008.
8. Anderson, P. W. “More is different”. *Science*, v. 177, nº 4047, p. 393-396. 1972.
9. Braun-Munzinger P.; Stachel, J. “The quest for the quark-gluon plasma”, *Nature*, v. 448, pp. 302-309. 2007.
10. Bloch, I.; Zoller, P. “Ultracold atoms and molecules in optical lattices”, In: Levin, K.; Fetter, A. L.; Stamper-Kurn, D. M. (Eds.). *Ultracold bosonic and fermionic gases*. Elsevier, v. 5, cap. 5, p. 121-156. 2012.

O PAPEL DA EMERGÊNCIA EM SIMULAÇÕES DE SOCIEDADES DE AGENTES ARTIFICIAIS

Nuno David
Jaime Simão Sichman

Não há disciplina científica, a partir da segunda metade do século XX, que tenha contribuído de modo tão profundo para o ressurgimento do interesse científico e filosófico pelo conceito de “emergência” como a simulação computacional de sistemas complexos. Os modelos de simulação pertencem a uma classe de modelos distintos dos modelos teóricos tratáveis através de métodos analíticos. Embora possam ser baseados em modelos teóricos, a sua implementação em um computador implica um rol de tratamentos formais e informais, através de uma cadeia de transformação em sucessivos outros modelos, que torna o produto final de alguma forma autônomo da teoria ou do modelo que lhe deu origem.

Um dos aspectos interessantes desses modelos consiste em analisar os resultados produzidos pelo processo de interação entre as entidades que os constituem, isto é, a emergência de características observáveis em um nível macro de análise, que não terão sido intencionalmente especificadas no modelo em um nível micro de análise. Tais observações devem ser confirmadas *a posteriori*, após múltiplos testes da simulação, sendo algumas delas difíceis de validar (1). O escrutínio de resultados emergentes é um dos aspectos fulcrais para o entendimento da relação entre as propriedades globais do modelo e as propriedades das entidades que o constituem (2). Especialmente em estudo de sistemas complexos em ciências sociais (3), as relações encontradas entre os níveis micro e macro de análise, bem como a sua correta validação, constituem o ingrediente mais apelativo para a utilização de abordagens baseadas em simulação computacional.

No entanto, e não obstante ao extenso uso de modelos de simulação para o estudo da complexidade social, o conceito de emergência não deixa de levantar interrogações científica e filosoficamente estimulantes, que têm merecido contínua análise (4; 5). Interrogações que nas ciências sociais, com menos apetrechos do que as ciências naturais e as da computação para a pesquisa experimental, historicamente multiparadigmáticas, surgem de forma mais vigorosa.

Este artigo procurará responder a questões fundamentais relativas à natureza e ao papel da emergência em simulações computacionais de fenômenos e teorias sociais, em particular no caso das simulações baseadas em agentes. Como explicar o conceito de emergência no contexto do método de desenvolvimento de simulações, e como se enquadra esse conceito no reconhecimento de que o produto final de uma simulação é o resultado de uma sucessão de transformações de modelos em outros modelos. Para compreender o que verdadeiramente emerge de um modelo computacional, interessa pois, em primeiro lugar, compreender a natureza do processo de implementação de programas em computadores. O que poderá

emergir de um programa em execução em um computador, que é, por definição, uma máquina física? Neste artigo, mostramos que a sucessiva transformação de modelos e os processos computacionais de inferência que lhe estão subjacentes carregam um conjunto de pressupostos assumidos pelo pesquisador, que vão além da capacidade que os computadores têm para os representar. Consequentemente, o processo de inferência que relaciona um estado emergente com a sua microdinâmica carrega, igualmente, um conjunto de pressupostos e conclusões que vão além da capacidade de inferência e expressividade dos métodos formais utilizados para desenvolver simulações. Daqui resulta ser algo ilusivo interpretar o conceito de emergência como uma decorrência da interação entre as partes de um modelo. Nem as simulações, nem os programas de computador que as constituem, devem ser entendidas como análogos de teorias científicas num sentido clássico. Razões existem que sugerem ver a simulação computacional da complexidade através de uma perspectiva distinta. A simulação computacional implica uma visão adicional sobre o que os programas de computador podem ser e representar no domínio do conhecimento científico, e que ultrapassa a natureza formal e empírica da computação.

1. PRESSUPOSTOS DA EMERGÊNCIA EM SIMULAÇÃO A simulação computacional nas ciências sociais estuda teorias e fenômenos sociais através da implementação de modelos científico-sociais em computadores, normalmente especificados ou descritos através de sociedades de agentes computacionais. Para esse efeito, uma infraestrutura computacional é usada para simular as ações e interações de agentes, definidos como entidades individuais ou coletivas, tais como organizações ou grupos, tendo em vista analisar os seus efeitos nos próprios agentes e na sociedade como um todo, desse modo recriando, descrevendo ou prevendo (6) o funcionamento de sistemas organizacionais e sociais, entendidos como sistemas complexos (8). Tal domínio de estudo é conhecido como Multi-Agent-Based Simulation (9-13). Neste contexto, é dada particular importância ao comportamento do sistema em um nível de descrição macro.

Tomemos como exemplo o conhecido modelo de disseminação de cultura de Axelrod (14), cujo objetivo é analisar a problemática da influência social. Em um nível micro de descrição, o modelo original, a que chamamos modelo pré-computadorizado, define (i) o conceito de atores, que se encontram espacialmente distribuídos num reticulado de 10 x 10 posições (ii) o conceito de cultura de cada ator, definido como um conjunto de características em número variável, e que podem tomar diversos valores; (iii) os mecanismos de interação entre culturas como um esquema do tipo *bit-flipping*, em que a probabilidade de interação entre dois atores é proporcional à medida de similitude entre as suas culturas, calculada por uma medida de proximidade entre os valores das características da cultura (15). Dentre os parâmetros relevantes da simulação, encontram-se o número de características culturais permitidas por cada ator e o número de valores que cada uma delas pode tomar.

A simulação é então explorada, variando-se os valores dos parâmetros, culminando na conceptualização de novas categorias de objetos em um nível macro de observação do modelo, como resul-



Figura 1 - O processo de desenvolvimento de uma simulação (1).

tado da interação entre culturas. A análise da simulação consiste na observação das propriedades desses objetos e das condições em que se formam, tais como os conceitos emergentes de *regiões* ou *zonas* de culturas similares. Assim, uma boa parte do objetivo da simulação consiste em pesquisar analítica e matematicamente propriedades dessas regiões de culturas similares, no contexto de um modelo conceitual que, nessa fase de análise, já integra noções pós-computadorizadas, i.e., não representadas internamente no modelo inicial, tais como a relação observada entre o tamanho de uma região emergente e a variação do número de características por cultura individual. Os resultados obtidos são depois interpretados em relação a uma teoria ou fenômeno sobre a influência social, a que podemos chamar de teoria ou fenômeno alvo.

Podemos assim constatar que do desenvolvimento da simulação emergem não apenas novos objetos, conceptualizados apenas por observação do comportamento da simulação, como emergem, em bom rigor, uma sucessão de novos modelos como extensões do modelo original.

A Figura 1 ilustra o processo típico de desenvolvimento de uma simulação. O processo envolve a construção de dois tipos distintos de modelos conceptuais: um antes da implementação física dos programas de computador da simulação – os modelos pré-computadorizados – e outro após a efetiva execução dos programas de computador que constituem a simulação – os modelos pós-computadorizados (1). Este fato leva-nos a reconhecer que existem dois objetos de pesquisa durante o desenvolvimento de uma simulação: em primeiro lugar, a teoria ou fenômeno alvo que se pretende estudar (e.g. a problemática da influência social), e, num plano não menos importante, o modelo físico computacional propriamente dito que é executado. Em suma, entre esses dois objetos de pesquisa interpõem-se pelo menos dois modelos conceptuais.

Um dos modelos pré-computadorizados poderá ser uma representação presumível da teoria ou fenômeno alvo, idealizada pelos

pesquisadores. Tais modelos podem ser representados de formas arbitrárias, podendo não estar representados numa forma computacional, nem sendo garantido que possam, sem perda de generalidade, ser transformados em modelos computacionais equivalentes. Contudo, esse modelo terá que ser implementado como um modelo computacional físico, isto é, executável em computador, através de criação de um número de outros modelos intermediários, como os programas representados textualmente escritos numa linguagem de programação de computadores. A inspeção do modelo computacional em execução leva à criação de um ou mais modelos conceptuais, representados à esquerda na Figura 1, designados modelos pós-computadorizados. Esses são construídos com base na observação do comportamento da execução dos programas de computador e dos seus dados de saída, tais como a visualização de gráficos ou outros dados estatísticos.

No quadro do método de desenvolvimento de uma simulação é precisamente a construção de modelos pós-computadorizados que dá origem à ideia de “emergência”, i.e., quando interações entre objetos especificados através de modelos pré-computadorizados, num nível qualquer de descrição, dão origem a diferentes categorias de objetos em diferentes níveis de descrição, observados no modelo computacional em execução e descritos em conformidade através de modelos pós-computadorizados.

Podemos assim afirmar que a noção de emergência não pode, no método computacional, ser analisada sem o reconhecimento que o produto final de uma simulação consiste em uma sucessão de transformações e incorporações de modelos em outros modelos.

A conhecida perspectiva de Mark Bedau (16), por exemplo, na tentativa de caracterizar a noção de emergência em sistemas complexos com grande sensibilidade às condições iniciais, define a noção de emergência do seguinte modo: um estado macroscópico é emergente se puder ser derivado do conhecimento da microdinâmica do sistema e das condições exteriores *apenas* através de simulação. Contudo, e como adequadamente sublinhado por Baker (17), caso não haja uma clara distinção entre técnicas baseadas e não baseadas em simulação, a definição de Bedau arrisca desaguar em vacuidade. Se queremos compreender o uso de modelos e simulações computacionais para o estudo da complexidade social, bem como a caracterização da noção de emergência que lhe está associada, interessa compreender os processos de sucessivas transformações de modelos que constituem o método de desenvolvimento de uma simulação. Edmonds (18, p.106), por exemplo, na tentativa de caracterizar o método de simulação computacional nas ciências sociais, define emergência do seguinte modo: um resultado é “emergente” quando os resultados da simulação não são facilmente *dedutíveis* das regras especificadas; por exemplo, no caso do modelo de Schelling (19), quando é difícil ver ou provar porque a formação de aglomerados de agentes da mesma etnia na simulação ocorre para pequenos valores de um parâmetro crítico. Mas se entendermos a simulação como um processo de imitação parcial do real e como um instrumento para estudar as relações que se estabelecem entre um estado emergente e a microdinâmica que lhe deu origem, as sucessivas transforma-

ções de modelos inerentes ao método tornam-se incontornáveis para se caracterizar a própria noção de emergência, bem como os processos de inferência utilizados pelo pesquisador para descobrir – ou deduzir, nas palavras de Edmonds – as relações entre um estado emergente e a microdinâmica. O que poderá, de fato, emergir de um programa em execução num computador, que é, por definição, uma máquina física?

EMERGÊNCIA COMO PRODUTO DA IMPLEMENTAÇÃO EM COMPUTADORES

Vimos anteriormente que o método de desenvolvimento de uma simulação envolve a formulação de modelos pré-computadorizados, tais como especificações e programas simbólicos escritos numa linguagem de programação. A simulação envolve, assim, a interpretação da teoria ou fenômeno alvo num programa de computador, uma estrutura formal simbólica com um poder de expressividade bastante mais limitado do que a descrição da teoria. Esse programa é implementado fisicamente no computador, que armazenará um seu equivalente físico, um conjunto de bits. Esse processo de transformação de modelos abstratos em modelos físicos denomina-se *implementação*. A implementação da simulação implica, por conseguinte, uma interação entre processos simbólicos e físicos que implementam uma relação de causalidade dos programas para o comportamento da simulação. Vejamos como pode ser caracterizada a noção de implementação.

Em ciências da computação, essa noção tem-se mostrado difícil de definir. Na literatura de linguagens de programação, a implementação é descrita como “a realização de uma linguagem de programação”. Entretanto, o termo “realização” não é definido. Tomado literalmente, significa “tornar real”, onde “real” é oposto a “imaginário” ou talvez “abstrato”, segundo Rapaport (20). Considere-se a relação entre algoritmos, programas e os computadores que os executam. Um algoritmo é um procedimento para computar uma função. Um programa é uma expressão textual mais específica e detalhada de um algoritmo, expressa numa linguagem de programação. Um processo de execução em computador é um comportamento correspondente à descrição do programa num dispositivo físico; o dispositivo físico *implementa* o programa. Rapaport apresenta, nesse contexto, uma das poucas propostas para definir a noção de implementação. O entendimento de Rapaport é que a implementação, é uma forma de “interpretação semântica” de um domínio sintático para um domínio semântico.

De acordo com Rapaport, a interpretação semântica requer dois domínios e uma relação: um domínio sintático, chamado de *abstração*, caracterizado por regras de manipulação de símbolos; um domínio semântico, caracterizado de forma similar; e uma interpretação semântica que mapeia o primeiro domínio no último. Posto desta forma, não existe uma diferenciação intrínseca entre os dois domínios; o que torna um sintático e o outro semântico é a assimetria do mapeamento interpretativo. Um dado domínio pode então ser considerado sintático ou semântico, dependendo do

outro domínio, e.g. um processo computacional que implementa um programa exerce o papel de domínio semântico para o programa como domínio sintático. O mesmo programa, implementando um algoritmo, exerce o papel de domínio semântico enquanto o algoritmo exerce o papel de domínio sintático.

As implementações são, por conseguinte, realizações abstratas ou físicas de abstrações. Para Rapaport, a explicação dessa noção requer ainda um terceiro termo, além da implementação e da abstração:

I é uma implementação da abstração A no meio M

onde A é a abstração e M é o domínio semântico que pode ser físico ou abstrato. Por exemplo, no estudo de estruturas de dados, pode falar-se sobre a implementação de uma estrutura abstrata – e.g. uma fila de registros de alunos – através de uma outra estrutura abstrata – e.g. uma lista ligada; implementar a lista numa linguagem de programação; implementar o programa numa linguagem de máquina; e implementar uma linguagem de máquina num computador. Há,

portanto, dois tipos de implementação, abstratas e concretas, onde as últimas são realizadas em algum meio físico. Rapaport avança no contexto dessa proposta, através do que ele chama do problema da *brecha semântica*, representada pelas quatro relações ilustradas na Figura 2:

A
INTERPRETAÇÃO
DE UM ESTADO
EMERGENTE É
SUSTENTADA POR
UMA ANALOGIA
SEMÂNTICA
COM A TEORIA

A. Através de uma relação *A*, um programa *P* numa linguagem de programação de alto nível é interpretado semanticamente por objetos do mundo real. Presumivelmente, a interpretação semântica do programa consiste na relação entre, por exemplo, estruturas de dados (um registro

representando um estudante, com o seu nome, classe, número, média das suas classificações) e um estudante arbitrário, imaginário ou no mundo real.

B. O programa *P* é compilado para uma implementação em linguagem de máquina, por meio de uma relação *B*. A relação da compilação inclui a relação entre o registro do estudante e determinadas construções com tipos de dados da linguagem de máquina. Ambas *A* e *B* são relações semânticas.

C. A implementação em linguagem de máquina – um programa *P* – é, por sua vez, interpretada semanticamente por *bits* num computador, por meio de uma relação *C*. Todas as relações semânticas são correspondências. A relação entre o programa *P* e os *bits* é apenas mais uma correspondência. Afinal de contas, poder-se-ia mapear também o programa *P* nos *bits* do computador, representado por uma relação de implementação *E*, via *B* e *C*.

D. A brecha semântica refere-se à relação entre os objetos do mundo real referidos na relação *A* (o estudante) e os objetos do mundo real referidos em *C* (os *bits* do computador), pois são ambos interpretações semânticas do programa.

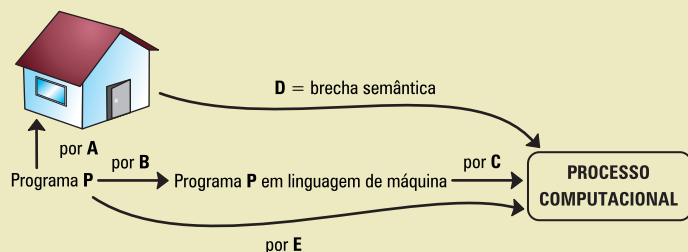


Figura 2 – A brecha semântica. (Figura baseada em Rapaport (20)).

E. O que é então a relação *D*? Segundo Rapaport, poderia ser o que ele chama de simulação. “Os *bits* do computador simulam o estudante. Mas simulação é, afinal de contas, uma forma de implementação. Os *bits* de computadores são uma implementação em computador do estudante” (20, p.112).

Existe um aspecto na proposta de Rapaport que merece melhor análise. Considere-se a relação *A*. Não parece questionável afirmar que o programa *P* é interpretado semanticamente por objetos do mundo real, no exemplo dado, o mapeamento de uma estrutura de dados em um estudante. Mas na acepção de Rapaport, isto é o mesmo que dizer que o programa *P* – o domínio sintático – é *implementado* em estudante – o domínio semântico –, o que se afigura absurdo!

Se entendermos o conceito de simulação como a relação *D*, podemos vê-la como um processo parcialmente representativo do estudante, que utiliza como meio uma máquina física, que se obtém por sucessivas transformações de modelos em outros modelos. Mas é inquestionável que a natureza da transformação de modelos formais em outros modelos formais equivalentes, através das relações *B* e *C*, se distingue da natureza da interpretação semântica de *P* por objetos do mundo real, dada por *A*. A brecha semântica acontece como o produto das limitações de expressividade da linguagem formal do programa computacional *P* para representar o mundo real que se pretende descrever.

Edmonds (18), por exemplo, aflora a questão das dificuldades de representação do mundo social em computadores, aludindo a dois tipos distintos de complexidade, a que chama de complexidades sintática e semântica. A primeira caracteriza as dificuldades em analisar o processo de inferência subjacente a uma simulação, nomeadamente, analisar os antecedentes dos resultados de uma simulação devido à complexidade das interações características de sistemas sociais. Uma forma de ver essa complexidade é que “a distância computacional do estado inicial do sistema para os resultados é tão grande que é completamente impraticável, senão inútil, derivar analiticamente propriedades dos resultados do estado inicial.” Por sua vez, a complexidade semântica é caracterizada pela dificuldade dos sistemas formais em representarem descrições com complexos conteúdos semânticos, como emoções, objetivos, crenças e normas sociais.

Há, contudo, um aspecto importante não frisado por Edmonds. As dificuldades semânticas de representação limitam em si mesmo

a capacidade de inferência formal através da derivação sintática. A interpretação dos resultados de uma simulação é afetada pela perda ou alteração de significados durante os processos de inferência sintática e de transformação de modelos. Em (21; 22), mostramos que a brecha semântica implica infundir significados nos programas de computador para além do que eles são, formalmente, capazes de representar, originando uma interpretação da computação que vai além da sua natureza formal e empírica, a que chamamos computação intencional. A sucessiva transformação de modelos e os processos de inferência que lhes estão subjacentes transportam pressupostos assumidos pelo pesquisador que vão além da capacidade de representação dos computadores. Consequentemente, o processo computacional de derivação sintática, que potencialmente relaciona um estado emergente com a sua microdinâmica, transporta, igualmente, um conjunto de pressupostos e conclusões externas assumidos pelo pesquisador, que vão além da capacidade dos métodos formais subjacentes ao processo.

DO CONCEITO ILUSIVO DE EMERGÊNCIA AO ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO

Dos pressupostos enunciados anteriormente, resulta como algo ilusivo que o conceito de emergência seja uma decorrência da microdinâmica de um modelo, quando não interpretado num quadro estrito e demonstrável de modo formal. Em boa parte, a interpretação de um estado emergente é sustentada por uma analogia semântica com a teoria ou fenômeno alvo que se pretende simular. A título de exemplo, comparam-se duas conclusões distintas e de teor abundante na literatura, relativo à emergência de agregados de agentes da mesma cor no conhecido modelo de Schelling:

“Existe um valor crítico para o parâmetro *C* (a proporção mínima de preferência por vizinhos da mesma cor), a partir do qual a grelha se auto-organiza em áreas segregadas de localizações da mesma cor. Esse valor é menor que 0,5” (18, p.123).

“Até um *desejo* por uma pequena proporção de vizinhos de *raça* similar pode levar a *segregação* auto-organizada” (18, p.23, nosso itálico).

Não será difícil concordar que a última conclusão, uma mera interpretação da primeira, carrega, no âmbito estrito do modelo computacional que dá suporte à simulação, um significado contra-factual. A analogia entre as duas conclusões não se encontra senão por um enriquecimento semântico da última sobre a primeira, cuja sustentação só pode ser encontrada em pressupostos exteriores à própria simulação.

Todavia, não restam dúvidas que o objetivo de uma simulação consiste em estabelecer analogias entre o sistema alvo considerado e a simulação. Como Küppers e Lenhard (23) assinalam, mesmo nas ciências naturais, o sucesso de um modelo computacional é normalmente avaliado em função da sua capacidade de imitar a teoria ou fenômeno alvo, e não pelo realismo dos seus pressupostos ou pela sua redução a princípios gerais. Como caso paradigmático, Küppers e Lenhard destacam o modelo global climático de Philips, avalia-

do pela medida em que reproduz realisticamente características dinâmicas da atmosfera, em detrimento do realismo das equações diferenciais utilizadas para gerá-lo. Estas foram intencionalmente modificadas da sua forma original para reproduzir corretamente as características emergentes da atmosfera.

Mas a capacidade de uma simulação imitar o fenómeno ou teoria alvo no domínio das ciências sociais carrega interrogações adicionais. As categorias de objetos emergentes num nível macro de observação em um modelo computacional não podem ser paralelizadas com categorias no mundo real senão por uma extensão semântica que não encontra sustentação empírica na própria simulação. Da mesma forma, a explicação das características emergentes de uma simulação em um nível macro de descrição, entendidas como o resultado da especificação da microdinâmica do modelo simulado, tampouco pode ser paralelizada com o mundo real senão por uma extensão semântica que, novamente, não encontra sustentação na própria simulação. Noções formais do conceito de emergência, como, por exemplo, as de “emergência fraca” de Mark Bedau, encontrarão assim dificuldades que parecem incontornáveis para situar o conceito de emergência na simulação computacional da complexidade social.

Há razões que sugerem considerar a simulação computacional da complexidade social através de uma perspectiva distinta. No caso, a simulação implica uma visão distintiva sobre o que os programas de computador podem ser, e representar, para o conhecimento científico. Nem as simulações nem os programas devem ser entendidos como análogos de teorias científicas num sentido clássico, tal como hipotetizamos (21), tese também sugerida no mesmo encontro por Küppers e Lenhard (23), entre outros. Aí se sugere que qualquer abordagem para definir o caráter epistemológico das simulações deve levar em conta a especificidade das ciências sociais, pondo-as em contraste com a natureza formal e empírica de pesquisa em ciências da computação, e, principalmente, com atenção ao estudo do contexto epistemológico da simulação nas ciências sociais.

Nuno David é professor auxiliar e pesquisador do Dinamia, no Centro de Estudos Sobre a Mudança Socioeconómica e o Território (CET), Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação do Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE/IUL), Portugal.

Jaime Simão Sichman é professor associado e pesquisador do Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI/PCS) da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), sendo parcialmente financiado pelo CNPq e Fapesp.

NOTAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- David, N.. “Validation and verification in social simulation: patterns and clarification of terminology”. In: Squazzoni, F. (Ed.) *Epistemological aspects of computer simulation in the social sciences*, EPOS 2006, Revised Selected and Invited Papers, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 5466, p. 117-129. 2009.
- David, N.; Sichman, J. S.; Coelho, H.. “Towards an emergence-driven software process for agent-based-simulation”. In: Sichman, J. S.; Bousquet, F.; Davidsson, P. (Eds.) *Multi-agent-based simulation II*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 2581, p. 89-104. 2003.
- Edmonds, B.; Meyer, R.. *Simulating social complexity - a handbook, Understanding complex systems series*. Berlin, Germany, Springer-Verlag. 2013.
- Franck, U.; Troitzsch, K. “Epistemological perspectives on simulation”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4), 2005.
- David, N.; Caldas, J. C.; Coelho, H.. “Epistemological perspectives on simulation III”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(1), 2010.
- A real capacidade dos modelos computacionais preverem o comportamento ou o funcionamento dos fenómenos que modelam é controversa, e varia de um domínio científico para outro. Na realidade, e em particular no domínio das ciências sociais, raramente é esse o objetivo. Para uma discussão em profundidade, vide David (7).
- David, N.. “Validating simulations”. In: Edmonds, B.; Meyer, R.. *Simulating social complexity - a handbook, Understanding Complex Systems Series*. Berlin, Germany, Springer-Verlag. p. 135-171. 2013.
- Conte, R.; Gilbert, N.; Sichman, J. S.. “MAS and social simulation: a suitable commitment”. In: Sichman, J. S.; Conte, R.; Gilbert, N. (Eds.) *Multi-agent systems and agent-based simulation*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 1534, p. 1-9. 1998.
- Sichman, J. S.; Bousquet, F.; Davidsson, P. (Eds.) *Multi-agent-based simulation II*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 2581. 2003.
- Sichman, J. S.; Antunes, L. (Eds.) *Multi-agent-based simulation VI*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 3891. 2006.
- Sichman, J. S.. “MABS celebrates its 10th. Anniversary!”. In: Antunes, L.; Paolucci, M.; Norling, E. (Eds.) *Multi-agent-based simulation VIII*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 5003, p. 1-7. 2008.
- David, N.; Sichman, J. S. (Eds.) *Multi-agent-based simulation IX*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 5269. 2009.
- Villatoro, D.; Sabater-Mir, J.; Sichman, J. S. (Eds.) *Multi-agent-based simulation XII*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 7124. 2012.
- Axelrod, R.. “The dissemination of culture: a model with local convergence and global polarization”. *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), p. 203-226. 1997.
- Uma vez que os atores interagem, o mecanismo de *bit-flipping* funciona da seguinte maneira: é selecionada uma característica na qual os seus valores diferem, resultando depois da interação em dois atores com o mesmo valor na mesma característica.
- Bedau, M. A. “Weak emergence”. In: James Tomberlin (Ed.) *Philosophical perspectives: mind, causation, and world*. Oxford, Blackwell Publishers. Vol. 11, p. 375-399. 1997.
- Baker, A.. “Simulation-based definitions of emergence”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13 (1), 2010.
- Edmonds, B.. “Towards an ideal social simulation language”. In:

- Sichman, J. S.; Bousquet, F.; Davidsson, P. (Eds.) *Multi-agent-based simulation II*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany, Springer-Verlag. Vol. 2581, p. 105-124. 2003.
19. Schelling, T.. *Micromotives and macrobehavior*. W. W. Norton & Company. 1978.
 20. Rapaport, W. J. "Implementation is semantic interpretation". *The Monist*, 82(1), p. 109-130. 1999.
 21. David, N.; Sichman, J. S.; Coelho, H.. "The logic of the method of agent-based simulation in the social sciences: empirical and intentional adequacy of computer programs". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4). 2005.
 22. David, N.; Sichman, J. S.; Coelho, H.. "Simulation as formal and generative social science: the very idea". In: Gershenson, C.; Aerts, D.; Edmonds, B. (Eds.) *Worldviews, science, and us: philosophy and complexity*. World Scientific Publishing. p. 266-284. 2007.
 23. Küppers, G.; Lenhard, J. (2005). "Validation of simulation: patterns in the social and natural sciences". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4), 2005.

A BIOLOGIA DE SÍNTESE E O PROBLEMA DA EMERGÊNCIA DA VIDA

Entrevista com Mark Bedau

Mark Bedau é considerado um dos especialistas mais reconhecidos na área da biologia de síntese e vida artificial. Professor no Reed College (Portland, EUA), ele foi criado em um ambiente filosófico – seu pai era um filósofo –, e ele obteve seu doutorado em filosofia na Universidade de Berkeley, Estados Unidos. Ele é editor-chefe do periódico *Artificial Life* e publicou vários livros sobre o assunto. Nesta entrevista, realizada por Remy Lestienne por email, Bedau trata sobre o campo da emergência da vida e as questões que envolvem a criação de vida artificial e sobre os desafios da biologia de síntese. “Nossos poderes de criar novas formas de vida estão em progresso e em desenvolvimento, de modo que é cada vez mais urgente exercer essas capacidades de uma maneira prudente e responsável”, pondera Bedau.

Como você foi atraído para o campo da emergência da vida, considerado ainda como novidade na área de pesquisa científica e filosófica?

O filósofo que há em mim está interessado nas mais fundamentais questões sobre os mais básicos aspectos da realidade. Penso que a maior parte das pessoas concorda em dizer que a *vida* é um aspecto básico da realidade. As coisas que são vivas e ativas diferem daquelas que são inertes e passivas. Sabemos muito a propósito da biologia molecular das formas simples de vida, e sabemos modelizar sistemas vivos, e este conhecimento fornece restrições empíricas úteis referentes à especulação filosófica. Igualmente importante são as simulações computacionais do tipo *bottom-up*. Logo no início da minha carreira vi como as simulações informáticas com computadores podem revelar estruturas emergentes nas redes complexas regidas por leis causais, de modo que incluí simulações com computadores nas ferramentas filosóficas que costumava usar. O valor epistêmico das simulações em computadores é capturado pela noção de *emergência fraca* – que é a característica costumeira e evidente das qualidades emergentes aparecendo nas simulações informáticas complexas de tipo *bottom-up*. Mais tarde, completei minhas ferramentas com uma grande quantidade de dados empíricos obtidos nas experimentações nos laboratórios úmidos, embora minha contribuição pessoal seja somente o programa (*software*) para modelizar os dados experimentais e prever quais provas experimentais novas podem revelar melhor as respostas emergentes. Estas experiências com computadores, que podemos caracterizar como feitas por um “robô cientista”, permitem engessar sistemas bioquímicos complexos que mostram as propriedades emergentes desejadas. Um alvo era planejar ou “programar” o que chamamos de protocélulas, isto é, sistemas químicos mínimos, os mais simples possível, embora bastante complexos para

mostrar todas as características chave dos sistemas vivos. Sendo muito simples, estes sistemas químicos mínimos podem revelar muito sobre as características essenciais dos sistemas vivos, o que interessa aos filósofos. Naturalmente, o projeto de *fabricar* novas formas de vida em laboratório levanta um grande número de assuntos éticos e sociais importantíssimos. Portanto, fui também envolvido em iniciativas intelectuais e sociais que promovem práticas relevantes da chamada responsabilidade social científica.

Seu trabalho trata de um ponto muito importante que abre a possibilidade para a verdadeira emergência no mundo, no sentido filosófico moderno da palavra, ou seja, para a manifestação de novas e irreduzíveis propriedades de sistemas quando eles atravessam certos patamares de complexidade. De fato, a vida parece ter atravessado vários patamares desse tipo. De forma breve, gostaria de mencionar as sucessivas aparições das bactérias (procariontas) e vírus, dos eucariotas (células com um núcleo separado), e dos seres vivos pluricelulares. Você acredita que o conceito de emergência deve se aplicar a cada um desses passos, no sentido fraco (epistemológico) ou forte (ontológico) do conceito?

Deixe-me primeiro definir alguns tipos chave de emergência. Eu chamo de *emergência criativa* o que se refere ao crescimento contínuo da complexidade máxima manifestado pelos organismos vivos em sua evolução histórica. Isso é o tipo de emergência à qual sua pergunta está se referindo. Deixe-me dizer que o conceito de *emergência forte* refere-se a uma propriedade de uma totalidade que exerce algumas potências causais “brutas”, isto é, potências causais que são irreduzíveis, a princípio, a qualquer combinação das potências causais das partes do sistema (e de suas organizações). Em contraste, refiro-me à *emergência fraca* quando se trata de propriedades produzidas quando redes complexas de causas regem sistemas construídos de um modo *bottom-up*.

A característica distintiva dos sistemas assim construídos (*bottom-up totalidades*) é que a matéria da qual eles são compostos consta exclusivamente do conjunto de matérias constituindo as partes, o estado da totalidade consta exclusivamente da combinação dos estados das suas partes, e as causas que regem o estado da totalidade são, exclusivamente, a combinação de causas que regem as suas partes. Se a rede de interações causais entre as partes de uma totalidade do tipo *bottom-up* é simples, então prever o estado exato do sistema global a qualquer momento no futuro é um problema simples, conhecendo exatamente as condições iniciais de todas as suas partes (e conhecendo as condições limites e qualquer contingência aplicável para sistemas abertos). Mas se a rede de interações causais entre as partes do sistema *bottom-up* é suficientemente complexa, então a única maneira de prever os estados exatos futuros do sistema é calcular, passo a passo, o efeito da rede de causas no futuro e computar cada um dos sucessivos estados de cada parte. Uma rede complexa de causas desse tipo é o que define a emergência fraca.

A emergência fraca é frequentemente descrita como uma emergência “epistemológica”. Essa descrição é, em parte, correta, mas também, em parte, falsa. É errado pensar que as totalidades que mostram propriedades emergentes do tipo fracas não têm propriedades ontológicas distintivas. A emergência fraca resulta de uma rede complexa de causas que regem certos sistemas globais *bottom-up*. Essa rede complexa de causas é uma propriedade real do mundo real. Não é possível prever o comportamento exato futuro de uma simples bactéria, se não através de uma tediosa computação considerando a rede de causas, pois este comportamento é regido precisamente por uma rede complexa de causas. Por outro lado, é correto pensar que a emergência fraca tem consequências epistemológicas características e importantes. Por causa da complexidade das redes de causas, tomemos conhecimento das propriedades de emergência do tipo fraca dos sistemas segundo certos caminhos emblemáticos. Redes complexas de causas explicam a importância das simulações computacionais de tipo *bottom-up*; este tipo de computação constitui a ferramenta perfeita para observar o efeito de seguir o procedimento das redes de

causas. De modo que a emergência fraca explica o papel central das simulações computacionais de tipo *bottom-up* nas ciências da complexidade.

Uma segunda consequência epistêmica das redes complexas de causas é a importância da *síntese*, resumida no famoso aforismo de Richard Feynman: “O que não podemos criar, não compreendemos”. Tendo em vista que não podemos derivar as propriedades emergentes fracas a partir dos primeiros princípios, uma maneira construtiva de considerar as propriedades emergentes produzidas por um certo tipo de rede complexa de causas é simplesmente criar essa rede e observar o

seu comportamento. Uma vez criado o sistema com as propriedades emergentes desejadas, pode-se observar como essas propriedades mudam quando se modifica as partes. Às vezes, pode-se descobrir novas estruturas na resposta emergente do sistema e se mapear as várias regiões da resposta do sistema. Essas estruturas e mapas são regras empíricas que permitem uma melhor exploração das propriedades emergentes. Criar sistemas com as propriedades emergentes desejadas constitui uma excelente maneira de apreender a ciência dessas propriedades.

As reflexões acima nos leva à terceira e a mais fundamental consequência da emergência fraca: o fato de que essa ciência depende de muitos dados empíricos. Porque as propriedades emergentes não podem ser preditas, o verdadeiro método para apreender sobre propriedades emergentes é a observação dos acontecimentos do sistema nas várias condições, como foi tentado de fato. O que finalmente equivale a ensaios exaustivos e observações dos êxitos e erros, o que nos faz pensar em ensaios famosos realizados sem descanso por Thomas Edison na procura de um filamento ideal para as primeiras lâmpadas elétricas. Quando observações empíricas e exaustivas se revelam uma das melhores maneiras de apreender novas coisas sobre o comportamento de um sistema, podemos suspeitar de estar na presença de uma rede complexa de causas que levam a propriedades emergentes fracas.

**EMERGÊNCIA
CRIATIVA SE
REFERE AO
CRESCIMENTO
CONTÍNUO DA
COMPLEXIDADE
MÁXIMA**

Agora, com estas definições na mão, deixe-me finalmente responder a suas questões. A emergência criativa de formas de vida mais complexas, a partir de formas mais simples ao longo da história da vida sobre a Terra, é um fato inegável. Contudo, até hoje ninguém conhece os mecanismos precisos graças aos quais isso aconteceu. De fato, ninguém sabe até como isso pode ter acontecido, em princípio, por que ninguém sabe como construir um modelo computacional *bottom-up* que mostre o crescimento correto da complexidade máxima. De modo que, por enquanto, a emergência criadora permanece um mistério. Pessoalmente, penso na evolução biológica como um processo essencialmente *bottom-up*, e as redes de causas implicadas como certamente complexas o bastante para gerar uma multidão de estruturas emergentes fracas. E uma dessas estruturas é a emergência criativa. Se estou certo sobre isso, então a emergência criativa não envolve emergência de tipo forte. A emergência fraca é suficiente. Dizer isso é também confessar minha ignorância, pois não sei exatamente qual tipo de emergência fraca está envolvida na emergência criativa. Um teste para saber se você compreende a emergência criativa é mostrar se você é capaz de construir um modelo *bottom-up* manifestando as características da emergência criativa. Por enquanto, não posso fazer isso, e hoje ninguém pode. Criar um modelo computacional *bottom-up* manifestando propriedades da emergência criadora é como o Santo Graal para todos os proponentes da emergência fraca.

Pode-se pensar que os ingredientes necessários para o aparecimento de propriedades emergentes, de modo geral, são tempo (e a vida claramente necessitou muito tempo para aparecer na Terra!) e abertura. Só sistemas abertos, isto é, que permitem intercâmbios de energia, entropia, e/ou matéria parecem elegíveis para que propriedades emergentes possam aparecer. Essas condições são de fato necessárias para que a vida possa atravessar os patamares dos quais falamos anteriormente?

O exemplo principal de emergência na filosofia da mente é o surgimento da consciência. A todo momento, uma pessoa tem certos estados conscientes da mente. No mesmo instante, o cérebro dessa pessoa e o seu sistema nervoso central (e também o resto do seu corpo e seu ambiente local) estão em vários estados físicos (e químicos e biológicos). A hipótese de uma intervenção de emergência aqui é que o estado consciente da mente dessa pessoa, a um dado momento, emerge do estado físico neste mesmo momento. Este tipo de emergência é *sincrônico*; ela ocorre em um instante de tempo. Isso demonstra que o tempo *não* é essencial para o tipo de emergência estática implicada nos estados conscientes da mente.

Ao contrário, a emergência fraca que descrevi acima é, por essência, *diacrônica*. A emergência fraca diz respeito à complexidade da rede de causas, e essa complexidade é manifestada pela maneira pela qual o comportamento do sistema se desenrola dinamicamente ao longo do tempo. A emergência fraca aparece quando as interações causais entre as partes são tão complexas que o comportamento da totalidade não pode estar comprimido ao longo do tempo. Assim, o tempo é central para a definição mesma da emergência fraca.

O que podemos dizer sobre a abertura? A emergência existe apenas em sistemas abertos? Se você enfoca sua atenção sobre algum organismo vivo, tal como uma bactéria, é claro que se está considerando um sistema aberto. A bactéria colhe matéria e energia do meio ambiente, e descarta resíduos; o metabolismo faz com que o organismo seja um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio ambiente. Da mesma maneira, a rede complexa de causas que rege as totalidades *bottom-up* manifestando propriedades emergentes fracas, tipicamente implica em interações com entidades do meio ambiente. Por essa razão, totalidades *bottom-up* com propriedades emergentes fracas são geralmente sistemas abertos.

Mas se se amplia bastante a visão, então a questão da abertura torna-se controversa. A ciência contemporânea diz que o universo real é finito; ele ocupa somente uma quantidade finita de espaço, e ele existiu somente por uma quantidade finita de tempo. Assim, o universo inteiro tal como ele existe é um sistema fechado. Em consequência disso, todo exemplo concreto de emergência fraca tem que existir nesse sistema fechado, e a abertura não pode estar em uma condição necessária da emergência. Uma ilustração bastante simples desse ponto é dado pelos autômatos celulares tal como o chamado Game of Life. Estes autômatos celulares são sistemas fechados, mas mostram muitos comportamentos característicos da emergência fraca (e talvez também de outros tipos de emergência). Assim, a abertura certamente não é necessária para a emergência fraca (e pelas mesmas razões, a estocasticidade também não é necessária, como vamos discutir abaixo).

Certos sábios adicionariam o acaso como um ingrediente necessário para que propriedades emergentes apareçam. Por exemplo, diz-se que a transcrição do DNA em RNA e a sua tradução em proteínas não são completamente regidas por regras determinísticas, mas obedecem também a alguma estocasticidade (1).

Deixe-me presumir que a ciência contemporânea ensina que algumas leis que regem o comportamento de objetos físicos fundamentais no mundo real sejam estocásticas. Portanto, qualquer objeto físico no mundo real que manifeste propriedades emergentes seria regido por um certo nível de leis estocásticas. Mas os aspectos interessantes do comportamento emergente talvez não sejam afetados por essas leis, pois diferenças estocásticas poderiam produzir o mesmo comportamento emergente. Assim, mesmo no caso em que objetos físicos fundamentais obedecem a leis estocásticas, o comportamento emergente dos sistemas globais não seria afetado. Finalmente, a estocasticidade não é necessária para a emergência em geral e para a vida em particular, mesmo que ela esteja normalmente presente nos dois. A meu ver, o que faz a diferença é a complexidade da rede de causas que produz o comportamento do sistema global. Mesmo se as leis fundamentais que regem as partes não sejam estocásticas, mas determinísticas, as redes de causas *bottom-up* podem ter o tipo de complexidade que produz a emergência fraca, como os autômatos celulares do tipo do Game of Life mostram. São as redes complexas de causas que produzem as propriedades emergentes, inclusive as propriedades emergentes dos sistemas vivos.

Tratemos agora dos problemas fascinantes da vida artificial e da biologia de síntese. Será que podemos sonhar em produzir a vida em laboratórios, a partir de matéria puramente inerte? Em anos recentes, houve alguns progressos espantosos nesta direção, tais como a síntese do genoma de vários vírus, ou a famosa experiência desenvolvida por Craig Venter e sua equipe nos Estados Unidos – a completa síntese do genoma da bactéria *Mycoplasma mycoides* (com mais de um milhão de nucleotídeos) e o êxito de seu transplante em uma outra bactéria, *Mycoplasma capricolum*. Essa experiência levou à eliminação do genoma original dessa última bactéria e a sua substituição pela forma sintética e, finalmente, para o funcionamento normal da bactéria assim modificada, inclusive seu metabolismo e replicação. O que o senhor acha desses progressos?

Em 2010, o Instituto J. Craig Venter (JCVI) anunciou que criara uma *célula sintética*. De fato, a célula do JCVI era apenas *parcialmente* sintética. Ela foi fabricada através da substituição do genoma natural de uma bactéria natural pelo genoma artificial sintetizado a partir de matéria ordinária e inerte; todo o resto na célula JCVI em questão era parte de uma bactéria viva normal. Exceto por algumas mudanças triviais, tais como marcas genéticas específicas e genes para produzir uma tinta azul, o genoma sintético da célula JCVI era um cópia exata do genoma de uma bactéria natural. Assim, a célula JCVI marca apenas um pequeno passo.

Porém, a célula JCVI abre portas para muitos outros passos, e passos ainda maiores. O mesmo método usado poderia produzir um genoma de uma bactéria fabricada para manifestar qualquer combinação desejada de características conhecidas. A composição do genoma poderia ser muito diferente dos genomas naturais, e consistir em qualquer sequência específica de nucleotídeos. Ademais, métodos usados na pesquisa de protocélulas (o que chamo de biologia de síntese *bottom-up*) nos permite sintetizar todos os outros componentes contidos no interior da membrana celular. Essas células *completamente sintéticas* estariam livres das contingências e erros acidentais manifestados pelas formas vivas existentes, e provavelmente eles seriam muito mais simples do que a mais simples célula viva natural. Ademais, os benefícios práticos de células sintéticas exigem uma grande reprogramação celular; muito trabalho e engenhosidade são requeridos para fazer com que bactérias produzam produtos preciosos tais como combustíveis ou fármacos. Eventualmente as células sintéticas úteis poderão então se tornar bastante artificiais.

As células sintéticas são sintéticas de três maneiras. Primeiro, elas existem somente por causa das ações conscientes e intencionais de um grupo de cientistas humanos; elas são sintéticas porque são *artefatos*. Segundo, elas são constituídas de *matéria inerte*, o tipo de matéria que se pode encomendar de um fornecedor qualquer de produtos químicos. O grau com o qual uma célula está vindo de fontes inertes pode variar; na célula JCVI, só o material genômico é sintético. Terceiro, uma célula de síntese pode ser uma *forma* muito nova de vida, uma forma que difere muito de todas as formas naturais de vida. Existem muitos modos de fazer com que uma célula de síntese difira das formas naturais de vida; uma delas é de juntar ou

tirar muitos genes vindos de uma grande diversidade de espécies. Ser uma nova forma de vida é uma questão de gradação; algumas formas novas de vida diferem pouco das formas naturais enquanto outras podem diferir muito. A célula JCVI era somente um exemplo criado artificialmente de forma natural de vida, mas há muito ainda por vir. Podemos esperar ver, em um futuro não tão distante, células totalmente sintéticas, produzidas exclusivamente a partir de materiais inertes.

O método da biologia de síntese usando pedaços padronizados é uma estratégia direta para tratar das propriedades emergentes dos sistemas vivos. A engenharia tradicional desenha e produz sistemas complexos de uma maneira modular e de tipo *top-down*, cujo objetivo é fabricar sistemas que não têm propriedades emergentes inesperadas e se comportam exatamente como desejado. O sistema global é dividido nas suas partes, e suas partes são ainda divididas em subpartes, e esse processo é repetido até chegar aos componentes primários que são pedaços simples e padronizados, disponíveis nos fornecedores industriais. Essas componentes padronizadas de tipo *plug-and-play* podem facilmente estar inseridas ou removidas nos desenhos modulares, de modo que é fácil para engenheiros humanos conceber (ou idear) máquinas desprovidas de comportamentos não previstos e não desejados. Porém, é tipicamente muito difícil reprogramar um ser vivo de modo a produzir o comportamento que se deseja. O desafio é se aprender a *desenhar propriedades emergentes desejadas*. Hoje, esse é o desafio científico chave da biologia de síntese.

A dificuldade da engenharia de emergência é bem conhecida, e atesta o fato que as propriedades emergentes não podem ser preditas. Há um pequeno argumento para sugerir como a engenharia de emergência é difícil; embora ele não esteja à altura do problema, ele torna a dificuldade visível. Supomos que a equipe do JCVI pode sintetizar células cujos genomas contêm um milhão de pares de bases. Levando-se em conta a existência de 4 nucleotídeos possíveis, tem-se $4^{1.000.000}$, ou cerca de $10^{600.000}$, genomas possíveis com este tamanho. Isto é um número muito, muito, muito grande. O universo inteiro contém, estima-se, cerca de 10^{80} átomos de hidrogênio (o menor átomo). Para escrever esse número com seus oitenta zeros seriam necessárias duas linhas de texto. Em comparação, o número de diferentes genomas individuais que a equipe da JCVI poderia sintetizar tem seiscentos mil zeros, e completariam cerca de duzentos páginas. As sequências de A, C, G e T de qualquer um desses genomas necessitariam de cerca de 350 páginas para escrevê-lo. A equipe do JCVI mostrou, de fato, que se pode sintetizar qualquer genoma específico desejado. Mas há duas coisas que, no entanto, ainda não se pode fazer. Primeiro, não se pode fazer todos os genomas possíveis. Mesmo se fosse possível reduzir cada genoma ao tamanho de um átomo de hidrogênio (o que não se sabe fazer), o universo inteiro conhecido seria pequeno demais para conter mais do que uma pequeníssima parte dos genomas. Segundo, não se teria a menor ideia de qual sequência específica produziria as características específicas desejadas na célula sintética. Ninguém sabe até agora quais genomas específicos produzem fontes de energia acessíveis e sustentáveis. Não é impossível apreender as soluções para esses problemas, mas se tem que

levar em conta a complexidade das redes causais e as propriedades emergentes resultantes. Um desafio chave para a biologia de síntese, hoje, é conhecer as maneiras eficientes de engenhar as propriedades emergentes desejadas em uma célula sintética.

Jean Weissenbach, o diretor do instituto de pesquisa *Genoscope* em Evry, França, disse que aqueles que pretendem efetivamente criar vida a partir de matéria inerte, apenas fazem ficção científica. Você compartilha dessa opinião? Ou, ao contrário, será que esse objetivo lhe parece alcançável num futuro não tão distante? Quais são, a seu ver, as condições mínimas necessárias para alcançar esse objetivo – isto é, criar um sistema capaz de metabolizar e reproduzir – num sistema simples e artificial?

Estou convencido que é possível criar novas formas de vida nos laboratórios. Essas formas de vida serão provavelmente muito mais simples que qualquer organismo vivo existente, mas isso não é um problema. Não será uma surpresa para mim se isso acontecer durante nossa vida, ou mesmo na próxima década. Contudo, é difícil prever o progresso da ciência e, por enquanto, somente um punhado de grupos de pesquisa no mundo tem recursos para trabalhar sobre protocélulas. Assim, ficaria surpreso se o objetivo de criar vida em laboratório não se realizasse daqui há algumas gerações.

Os pesquisadores no campo de protocélulas mais ou menos compartilham um consenso quanto à definição das condições necessárias para uma vida química mínima. Chamo de modelo Program-Metabolism-Container (PMC). É um modelo químico funcional que não se preocupa com os detalhes tais como a natureza dos materiais químicos envolvidos, mas, ao contrário, se concentra em certas funções químicas, tais como a agregação, o metabolismo ou o isolamento espacial. Estas funções químicas podem ocorrer de diversas maneiras, e qualquer realização química correta da estrutura funcional PMC seria um exemplo de vida química mínima.

O modelo PMC considera que uma vida química mínima se estabelece em todo sistema químico desde que três funcionalidades químicas críticas estejam integradas, de tal maneira que cada uma sustente as outras. A primeira funcionalidade química (P, para “programa”) coloca as propriedades químicas do sistema sob o controle de uma informação hereditária, armazenada no sistema e que pode ser modificada no processo de reprodução. A segunda funcionalidade química (M, para “metabolismo”) consiste em extrair energia livre do meio ambiente e digerir recursos disponíveis no meio ambiente para sustentar e corrigir o sistema, o fazer crescer e finalmente reproduzir-se. A terceira funcionalidade (C, para “conteúdo”) assegura que o sistema mantenha a sua identidade ao longo do tempo através da localização de todos os seus componentes, da concentração dos princípios reagentes e da proteção das operações químicas de parasitas moleculares e venenos.

No modelo PMC, os termos “programa”, “metabolismo” e “conteúdo” devem ser entendidos por suas funcionalidades, com um mínimo de constrangimento sobre as suas realizações químicas. As

funcionalidades P, M e C não são somente contíguas no espaço; elas são quimicamente integradas e se sustentam mutuamente, de modo que o processo contínuo de cada componente depende do processo contínuo das duas outras componentes. Deste modo, a PMC integrada apresenta um tipo de cooperação química. O programa envolvido no sistema pode sustentar a tríade funcional quando sequências ou estruturas de biopolímeros têm propriedades catalíticas ou são usadas como matéria estrutural de um invólucro. De modo semelhante, um metabolismo pode abastecer a produção de pedaços constitutivos de paredes e de programas. As paredes celulares podem atuar como catalisadores de várias maneiras; por exemplo, as condições termodinâmicas em um agregado de lipídeos ou na interface com um agregado de moléculas d’água, que diferem das condições termodinâmicas na água simples, podem ser catalíticas. Esses exemplos mostram como cada componente de um sistema PMC ajuda na operação das outras, e consequentemente, ajuda a assegurar o processo contínuo da tríade PMC inteira.

**FICARIA
SURPRESO SE O
OBJETIVO DE
CRIAR VIDA EM
LABORATÓRIO
NÃO SE
REALIZASSE**

A biologia de síntese não somente trata da possível criação de vida a partir de matéria inerte, mas também se preocupa, de modo mais geral, a modificar organismos biológicos simples para que fabriquem produtos necessários para a economia humana. Artemisinina (uma substância promissora na luta contra a malária), o hormônio de crescimento, a hidrocortisona, e também os hidrocarbonetos que podem substituir os combustíveis fósseis, figuram entre os objetivos apontados pelas cerca de 500 companhias que já começaram a investir nesse campo. Será que estamos às

vésperas de uma nova revolução industrial? Os países investem suficientemente na pesquisa no campo da biologia de síntese?

Estamos no início de uma revolução industrial envolvendo a biologia sintética. Haverá muitas oportunidades excelentes para empresários e investidores. Isso vai levar a muita publicidade, mas muito dinheiro vai ser ganho e perdido. Como já disse anteriormente, uma das oportunidades chave de negócio consiste em inventar e aperfeiçoar novas maneiras de engenhar os mecanismos bioquímicos complexos que levam às propriedades emergentes desejadas. Contudo, está além da minha competência especular se as oportunidades industriais na biologia sintética serão, ou não, muito melhores do que em ramos competitivos.

A biologia sintética não é somente cheia de promessas, mas também – como a maioria dos avanços científicos – um objeto de receio. Michele Garfinkel, que trabalhou no Centro de Genômica Avançada em Rockville, Maryland, EUA, disse que daqui a dez anos, sintetizar vários vírus patogênicos será mais fácil do que isolá-los em meio natural, de um paciente, ou que roubá-los de um laboratório de alta segurança. Como podemos proteger a biologia de síntese contra aqueles que queiram “brincar de ser Deus”?

Penso que as preocupações sobre o uso mal intencionado da biologia sintética são exageradas. Tem vias mais simples, menos caras e bem conhecidas para causar prejuízos e grandes alarmes do que a *biologia de síntese* do tipo *faça você mesmo*. Mas alguns receios sobre brincar de ser Deus podem ser mais graves. Esses receios são frequentemente denegados em bloco muito rapidamente. Por exemplo, Drew Endy disse “as questões de brincar ou não de ser Deus são tão superficiais e simplistas que não vale a pena levar em consideração na discussão”. Em contraste, acho que devemos distinguir as formas diferentes desses receios, pois algumas são, de fato, muito antigas e dizem respeito a cada um de nós.

Ninguém pensa que biólogos de síntese podem criar a vida a partir de nada; uma criação *ex nihilo* é impossível. Do mesmo modo, ninguém contesta que criar as condições, nos laboratórios, necessárias para sintetizar a vida exige muito cuidado e muita inteligência. Os cientistas envolvidos são seres vivos, portanto, pode-se dizer que formas de vida sintética não vão emergir num mundo completamente desprovido de outras formas de vida. Mas os pesquisadores de fato *estão procurando* criar formas de vida sintética usando somente materiais inertes, o tipo de materiais que se pode comprar num fornecedor de produtos químicos. Essa meta, por enquanto, é um sonho científico, mas ela já é um forte incentivo para biólogos de síntese do tipo *bottom-up*. Na minha opinião, veremos num futuro não tão distante a criação de formas de vida sintética a partir de materiais exclusivamente inertes.

O que dizer sobre a preocupação de que somente Deus *pode* criar novas formas de vida? Uma perspectiva religiosa sobre o problema de criar vida sintética pode conter muita sapiência, mas qualquer sabedoria baseada somente em dogmas religiosos será ignorada pelos não crentes. Então os receios religiosos sobre o fato de brincar de ser Deus tendem a desencorajar qualquer discussão fecunda.

Porém, uma terceira forma de receio de brincar de ser Deus ainda existe. Nossos poderes de criar novas formas de vida estão em progresso e em desenvolvimento, de modo que é cada vez mais urgente exercer essas capacidades de uma maneira prudente e responsável. A capacidade para uma reprodução exponencialmente crescente e para uma evolução sem limites é o que viabiliza a existência de formas vivas tão poderosas e tão potencialmente úteis, mas que são também formas de vida particularmente difíceis de predizer e de controlar. Isso gera uma forma pragmática e totalmente secular sobre o receio de brincar de ser Deus. O receio é saber se humanos terão o entendimento e a sapiência que queremos ver em qualquer pessoa que está criando novas formas de vida. Queríamos outorgar essa responsabilidade a pessoas com um discernimento parecido ao de Deus sobre as consequências de vários atos, uma sabedoria parecida a de Deus sobre a maneira de promover as melhores vantagens para eles, e um poder parecido ao de Deus de enfrentar qualquer problema imprevisto. O que pode alimentar esse receio é a empáfia da gente que dispõe de tecnologias emergentes poderosas e imprevisíveis. Somos espertos, benevolentes, e responsáveis o bastante para lidar com a biologia sintética e com a ciência das protocélulas? Essa forma pragmática e secular de apreensão a propósito de se brincar de ser Deus merece a atenção de todos, mesmo dos ateus.

Quando decidimos o que fazer com sistemas complexos que manifestam propriedades emergentes fracas, geralmente estamos decidindo às cegas. Decidir às cegas não é um caso considerado pela teoria de decisão tradicional. Decidimos às cegas quando devemos tomar uma decisão embora estejamos fundamentalmente incertos sobre as consequências das nossas decisões; a nossa decisão está cheia de incertezas desconhecidas. Às vezes não sabemos os resultados das várias escolhas possíveis, de tal modo que não podemos identificar os ramos da árvore de decisões. Somos, às vezes, ignorantes sobre as verdadeiras utilidades gerais associadas a cada ramo, de modo que não os podemos avaliar. As propriedades emergentes fracas associadas à vida são, naturalmente, a razão dessas incertezas. As propriedades emergentes fracas, por definição, são tão complexas que predizê-las é impossível, e ficamos na obscuridade sobre as suas consequências ao menos que possamos seguir passo a passo a rede de causas. É por isso que, nessa situação, a teoria da decisão tradicional oferece tão pouca ajuda para as nossas decisões.

NOTA BIBLIOGRÁFICA

1. Estocasticidade: propriedade de todo sistema cujo comportamento se complica com a ação de fatores fortuitos, ao acaso.

A EMERGÊNCIA, UMA SOLUÇÃO AO PROBLEMA MENTE-CÉREBRO?

Rémy Lestienne

AS RELAÇÕES MENTE-CÉREBRO, UM PROBLEMA CENTRAL DA FILOSOFIA O problema das relações entre a mente e o cérebro ou, em termos um pouco mais recentes, entre o pensamento e os processos nervosos, é um dos problemas centrais da filosofia. Pois atrás dele se perfila o problema do livre-arbítrio: realidade ou ilusão?

Ao risco de simplificar demais o problema, deixe-me dizer que, até a época moderna, as várias respostas que essa questão recebeu podem ser avizinhas com uma ou outra das duas alternativas seguintes: a solução dualista de Descartes, e a outra monista de Spinoza.

A solução dualista tem um problema: se o pensamento é, em substância, completamente diferente da matéria, como se pode entender que o pensamento possa interferir na matéria, e como a menor ação consciente é possível? Sabemos hoje que a solução proposta por Descartes, a intervenção de um órgão de conexão entre as duas realidades (a glândula pineal), é ingênua e errada.

A solução spinozista é hoje considerada bem mais atraente: o pensamento e os processos nervosos jorram em paralelo de uma substância única, que só é a realidade, mas com vários atributos. Processos nervosos e pensamento são dois atributos dessa substância, que não são redutíveis um ao outro. Sempre se desenrolam em paralelo, de modo que sempre há uma correspondência perfeita do segundo com o primeiro. A solução proposta por Spinoza é mais econômica que a solução dualista. Porém permanece um problema difícil, aquele das interações entre o pensamento e os processos neuronais e da possibilidade de uma causalidade de tipo *top-down* do primeiro sobre os segundos, que parecem necessários para admitir um verdadeiro livre-arbítrio, que não seja, como o próprio Spinoza sugeriu, uma simples ilusão, o resultado do consentimento dado pela nossa consciência às nossas determinações interiores.

É por isso que a solução monista proposta por Roger Sperry (1913-1994, ganhador do Prêmio Nobel de 1981), embora diferente daquela de Spinoza, parece tão interessante. Sperry, ele mesmo, salientou a importância do assunto: “De todas as questões que podemos perguntar a propósito da experiência consciente, não existe qualquer uma na qual a resposta tem as mais profundas e mais abrangentes implicações que a questão de saber se, sim ou não, a consciência tem um poder causal. As várias respostas a essa questão levam a paradigmas basicamente diferentes para a ciência, a filosofia, e a cultura em geral” (Sperry, 1980, p. 205).

ROGER SPERRY, UM NEUROFISIOLOGISTA TREINADO NO BEHAVIORISMO MAS INSATISFEITO Na sua juventude, Roger Sperry foi treinado como neurofisiologista no espírito do behaviorismo, a ideologia científica dominante nos laboratórios de fisiologia nervosa na metade do século XX. De forma breve, o behaviorismo é a ideia que o cérebro é um sistema tão complicado que não é possível tratar

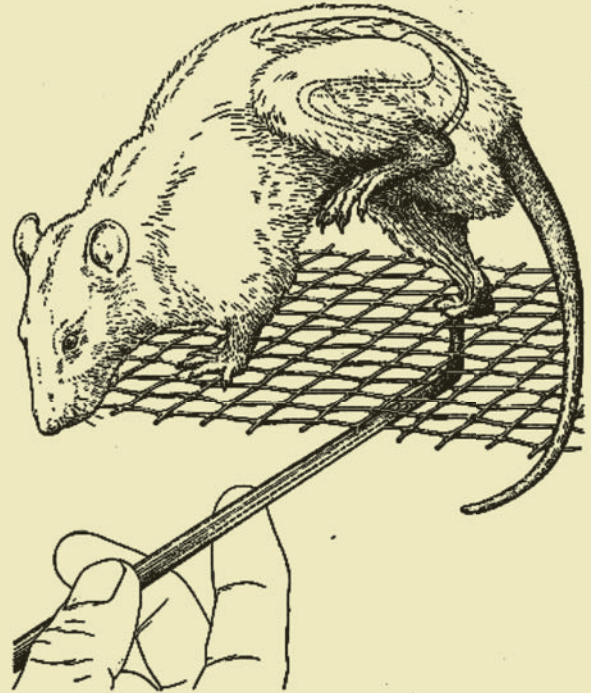


Figura 1 - Representação do experimento de Sperry no qual o rato levanta a pata esquerda após receber um pequeno choque na perna traseira direita. Crédito: Sperry (3)

cientificamente de “funções” tal como a consciência. O cérebro era então considerado como uma “caixa negra” cujos observadores só puderam observar entradas e saídas. A única coisa que os cientistas puderam fazer, segundo o behaviorismo, era constatar correlações entre certos estímulos do sistema nervoso central e os resultados motores que esses estímulos podiam produzir.

De 1934 até 1937, Sperry foi treinado no laboratório de Raymond Staton, que era um especialista da fonética motora, ou seja do estudo da linguagem do ponto de vista dos movimentos musculares pelos quais ela é produzida, um programa de pesquisa bastante alinhado ao behaviorismo. De 1937 até 1941, Sperry continuou sua formação em Chicago, onde estudou neuroanatomia e neurofisiologia de ratos, até produzir sua tese de doutorado sobre “O resultado funcional de cruzar nervos nas pernas de ratos” (2). Ele era muito hábil para realizar delicados transplantes de nervos nas pernas traseiras de ratos recém-nascidos. Especificamente, ele cortava o nervo sensitivo das duas pernas traseiras e logo suturava o nervo da perna direita sobre o nervo ascendente da perna esquerda. Essa operação anula o cruzamento usual das vias nervosas ascendentes dos membros até o cérebro. Quando Sperry dava um pequeno choque sobre a perna traseira direita do rato já crescido, o animal sempre levantava a outra perna. Para Sperry, isso era uma clara indicação de que a associação das sensações com um membro, uma vez adquirida, é adquirida para sempre e fixada pelo sistema nervoso central.

Essas experiências eram claramente do tipo permitido pelo behaviorismo, um exemplo de “correlação entre um estímulo e a resposta motriz”. Porém, Sperry começava a questionar se seria possível ir além e, a partir de observações deste tipo, obter indicações sobre as funções superiores do sistema nervoso central, tais como sensações superiores (o que os neuropsicólogos chamam de “qualia”) e, finalmente, sobre a função que chamamos a “consciência”.

O exemplo comum de “qualia” segundo os psicólogos é da cor, o vermelho, por exemplo. Pois a cor de um objeto não é uma qualidade do objeto em si mesmo, mas o resultado de um tratamento sutil, nas áreas superiores do cérebro, entre os dados físicos da luz que entra na retina, as condições de luz ambiente, e as lembranças pessoais a respeito desse objeto. O exemplo preferido de Roger Sperry, porém, não era da cor mas aquele da dor, bem de acordo com as suas primeiras experiências sobre o transplante de nervos nos ratos. Pense no exemplo da dor que, frequentemente, os pacientes que foram amputados de um braço ou uma perna continuam a sentir no membro amputado. Sperry pensava que este tipo de dor não podia ser explicado por causas biofísicas ou fisiológicas, pois os receptores correspondentes da dor num membro amputado obviamente não existem. A excitação das redes nervosas correspondentes no sistema nervoso central deve, ao menos em parte, ser construída, ou melhor, organizada como um qualia no cérebro mesmo, acreditava Sperry.

SEPARANDO OS DOIS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS Mas a consideração de transplantes de nervos periféricos ou de amputação de membros não era totalmente convincente, e Roger Sperry, que entretanto havia mudado para o Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), começou a pensar na possibilidade de intervir no próprio cérebro. A partir daí, ele praticou experiências de corte do corpo caloso em gatos e macacos. O corpo caloso é o feixe de nervos que unem o hemisfério cerebral direito ao hemisfério cerebral esquerdo, e que é constituído, nos humanos, por mais de 200 milhões de fibras.

Em 1962, Sperry encontrou o cirurgião Philip Vogel, que já havia praticado a secção do corpo caloso em um paciente, a fim de impedir que crises de epilepsia se propagassem de um hemisfério cerebral ao outro. Vogel e o paciente concordaram que Roger Sperry e sua equipe examinassem e organizassem uma série de testes psicofísicos sobre ele, assim como ocorreu, mais tarde, com outros cerca de vinte casos similares (Figura 3).

Para entender melhor o conteúdo e os resultados desses testes, é preciso lembrar de alguns dados anatômicos sobre o processamento da visão no cérebro (Figura 4).

Focalizemos agora a atenção sobre os testes sobre as capacidades cognitivas do hemisfério direito do cérebro. Os testes demonstraram que o cérebro direito percebe, memoriza e reconhece objetos tão bem quanto o cérebro esquerdo. A única diferença é que o paciente que, como a grande maioria das pessoas, tem os centros da palavra no lado esquerdo do cérebro, não pode falar desses objetos, pois o seu cérebro direito, em função da operação de comissurotomia, perdeu toda conexão nervosa com o cérebro esquerdo.

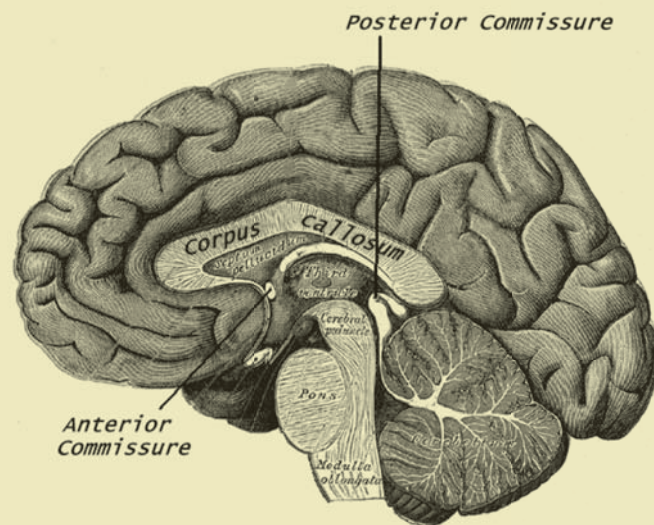


Figura 2 - Corte longitudinal do cérebro ao longo da fissura central, mostrando as convoluções da hemisfério interno esquerdo, o tronco cerebral dividido, e os vários feixes que conectam os dois hemisférios do cérebro: o grande feixe do corpo caloso e as menores comissuras anteriores e posteriores

A UNIDADE DA CONSCIÊNCIA PRESERVADA Os testes demonstravam que tanto o cérebro direito quanto o cérebro esquerdo não somente tinham capacidades cognitivas similares, mas também capacidades intelectuais superiores similares, tais como a capacidade de memorizar e de expressar emoções. Contudo, apesar do fato de haver dois hemisférios cerebrais separados e desconectados, mas cada um capaz de processos cognitivos, esses pacientes não demonstravam ter uma dupla consciência. Sperry ficou espantado de ver até que ponto a unicidade da consciência está preservada neles. Qualquer dissonância entre o que o paciente podia ver no seu campo visual direito e a emoção claramente disparada pelo que ele estava vendo no seu campo de visão esquerdo estava imediatamente justificada, eventualmente por uma clara fabulação, e evidentemente sem usar nenhuma informação relativa ao que estava projetado no seu campo de visão esquerdo, ao qual o seu cérebro esquerdo não tinha acesso.

Por exemplo, se a fotografia de um rosto expressando muita raiva é apresentada no lado esquerdo da tela, o paciente contrai o seu rosto em sinal de descontentamento. Se, fora da sua visão, alguém belisca o paciente na mão esquerda (cujos sentidos são processados pelo hemisfério direito do cérebro), o seu rosto exprime a dor, tanto quando o beliscão é impingido na mão direita. Mas, com certeza, no primeiro caso ele não pode falar a causa real da sua dor. Como o cérebro é, talvez, antes de mais nada, uma máquina extraordinária para fabricar uma visão coerente do mundo (e isso é, acredito, a marca mais distintiva da consciência), ele vai fabular. Por exemplo, nesse caso o paciente pode dizer que ele fazia careta porque ele sofre de dor de barriga.

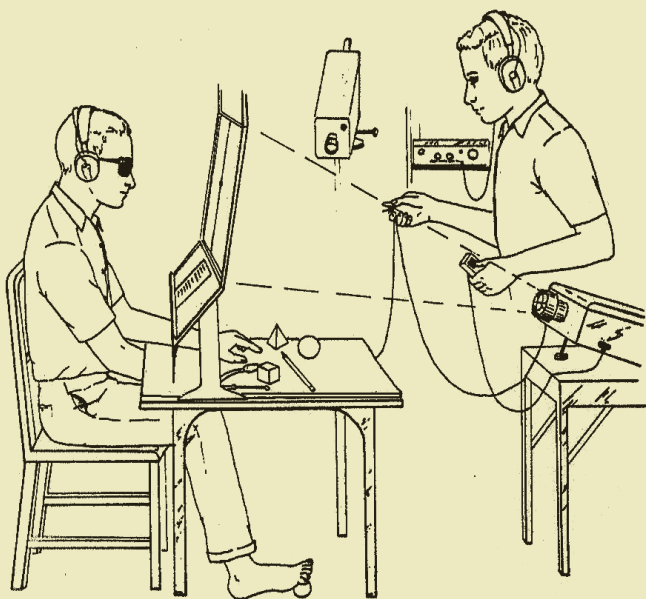


Figura 3 - Disposição do laboratório durante os testes psicofísicos realizados por Sperry e equipe, em pacientes cujas comissuras centrais foram cortadas por razões médicas. O projetor de diapositivos pode projetar imagens tanto no lado direito, esquerdo ou em ambos os lados da tela. Sperry (4)

Considere a maravilha da visão. Veja como nossa visão é perfeitamente contínua através da linha vertical que separa o campo de visão esquerdo do campo de visão direito. Como não se espantar com essa perfeição, sabendo que os dois campos são processados, ao menos nos primeiros passos de integração no cérebro, por centros nervosos tão distante um do outro, nos polos occipitais de cada hemisfério cerebral? Essa perfeita continuidade fica preservada, mesmo quando fechamos um olho, e fixamos um ponto bem longe à frente, para evitar sacudidelas oculares.

Considere também a fusão de diferentes modalidades de percepção, tal como a fusão do som e da visão quando assistimos, num concerto, a uma batida dos címbalos. Não se nota a diferença de tempo entre o som e a visão do ato, embora saibamos que, num teatro bastante largo, o som chega com um certo atraso nos ouvidos. É um atraso pequeno, tipicamente alguns décimos de segundo, mas normalmente perfeitamente perceptível. É a sua percepção consciente que reorganiza e resincroniza os dois tipos de estímulos!

Todas essas observações levaram Sperry a considerar a consciência como algo único, além de simples excitações neuronais. O todo mostrava uma propriedade nova, irreduzível, característica do mecanismo de emergência. Mais especificamente, Sperry admitiu que a consciência exerce um poder organizador, uma causalidade de tipo *top-down*, sobre os processos neurofisiológicos, as descargas neuronais. Ele não se considerava, porém, um dualista, pois insistia, ao mesmo tempo, sobre a unicidade dos

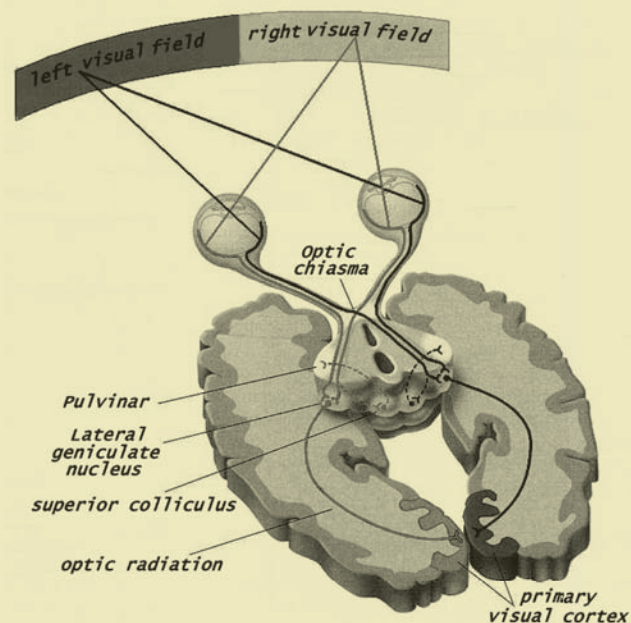


Figura 4 - Fatia horizontal do cérebro, explicando o percurso das vias óticas, com cruzamento de certos feixes no nível do quiasma óptico, assegurando que todo o campo de visão esquerdo seja processado no córtex primário visual direito, e vice-versa. Mais precisamente, o quiasma óptico faz com que as fibras nervosas, vindas de ambos os olhos e que concernam o lado esquerdo do campo visual, se projetam unicamente no hemisfério direito do cérebro (em primeiro lugar no córtex occipital direito e para seguir nas áreas visuais secundárias do mesmo hemisfério). Da mesma maneira, as fibras nervosas vindas de ambos os olhos e que concernam o lado direito do campo visual se projetam unicamente no hemisfério cerebral esquerdo. Fibras nervosas vindas da retina esquerda mas que concernam o lado esquerdo do campo visual não cruzam o plano médio no quiasma óptico

processos nervosos. Ele desenvolveu e defendeu uma visão tipicamente emergentista, mais precisamente da variedade "forte" do emergentismo, das relações mente-cérebro. Ele se distanciou, em cada ocasião, tanto do materialismo reducionista como do dualismo espiritualista (5).

CONCLUSÃO A posição de Sperry no que diz respeito à consciência abre a possibilidade paradoxal de uma consciência com poderes específicos sobre os processos neuronais, mas que permanece no domínio puramente biológico. Portanto, é um exemplo, talvez o mais paradigmático, de emergência forte, que se opõe ao dualismo cartesiano tanto como ao reducionismo materialístico. Ele se diferencia também da emergência fraca advogada por muitos filósofos e cientistas que queriam limitar o emergentismo ao domínio epistemológico e negar qualquer poder causal específico do tipo *top-down* às propriedades emergentes.

“Eu estou convencido que as totalidades e as suas propriedades são fenômenos reais”, disse Roger Sperry, ganhador do Prêmio Nobel de 1981 “por suas descobertas acerca da especialização funcional dos hemisférios corticais”. Ele afirmou também que revisões básicas sobre os conceitos de causalidade eram necessárias, nas quais a totalidade, além de ser “diferente e maior do que a soma das partes” também causalmente determinam o destino das partes, sem interferir com as leis da física ou da química que regem as subpartes nos seus níveis próprios. Segue, segundo ele, que a ciência física não mais percebe o mundo como redutível à mecânica quântica nem à qualquer outro elemento ou campo de força unificador” (6).

A posição de Roger Sperry naturalmente suscitou e continua a suscitar objeções, não somente da parte daqueles que, por razões próprias, continuam a considerar que, tendo em vista o êxito do reducionismo, não se deve abandonar a esperança de reduzir todos os fenômenos físicos, biológicos e psicológicos ao resultado de causas físicas no nível fundamental (uma atitude ainda dominante na maioria dos especialistas em física quântica), mas também da parte de certos sábios que, apesar de aceitar a ideia de propriedades especiais da consciência, recusam a solução monística e materialística de Sperry.

Devemos admitir que a solução proposta por Roger Sperry não está perfeitamente clara sobre um ponto de coerência lógica. Um filósofo contemporâneo, Jaegwon Kim, em particular, salientou recentemente (7; 8) que é logicamente impossível admitir a emergência de novas causas irreduzíveis num nível alto e, ao mesmo tempo, aceitar o monismo das causas e efeitos, isto é, neste caso, acreditar que o conteúdo da nossa consciência é, e somente é, o resultado dos processos neuronais no cérebro.

Para contornar essa dificuldade, parece necessário aceitar uma solução de continuidade temporal nos processos em questão (9). Nessa visão, a consciência como propriedade emergente global poderia mudar, de maneira abrupta, o desdobramento contínuo dos processos neuronais ao nível cerebral, ou, mais precisamente, provocar nesses processos certas bifurcações que não seriam previsíveis com antecedência. Essa visão parece concordar bem com a impressão subjetiva dada pela introspecção da maneira na qual tomamos uma decisão. Uma solução de continuidade no curso determinístico dos eventos não é, contudo, totalmente desconhecida nas ciências. Penso, em particular, na teoria da medida em mecânica quântica, como também nas mais recentes tentativas de reconciliar a teoria quântica com a relatividade geral, propondo uma granulação do tempo para descrever os fenômenos na pequeníssima escala espacial. Naturalmente, as pesquisas neste campo estão apenas começando e não devemos prejudicar os seus desenvolvimentos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sperry, R.W., 1981. “Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres”, *Nobel Lecture of 12/8/1981*, The Nobel Foundation.
2. Sperry, R.W., 1941. “Functional results of crossing nerves and transplanting muscles in the fore and hind limbs of the rat”. PhD thesis, Chicago University.
3. Sperry, R.W., 1959. “The growth of nerve circuits”, *Sci. Amer.*, 201: 68-75.
4. Sperry, R.W., 1970. “Perception in the absence of the neocortical commissures”, *Percept. Disor.* (Assoc. for Research of Nervous and Mental Diseases), 48: 123-138.
5. Veja a sua publicação: Sperry, R.W. “Mind-brain interaction: mentalism, yes; dualism, no”. *Neuroscience*, Vol.5, pp.195-206., 1980.
6. Op. cit. Sperry, 1981 (ref. 1).
7. Kim, J., 2006. “Being realistic about emergence”, in: *The re-emergence of emergence*, P. Clayton & P. Davies ed., Oxford: Oxford Univ. Press, p. 189-202.
8. Kim, J., 2008. “The nonreductivist’s troubles with mental causation”, in: *Emergence, contemporary readings in philosophy and science*, M.A. Bedau & P. Humphreys ed., Cambridge: The MIT Press, p. 427-445.
9. Veja por exemplo: Lestienne, R., 2012. *Dialogues sur l’émergence*, Paris: Ed. Le Pommier. *Diálogos sobre a emergência*, em preparação, São Paulo : Ed. Unesp.

Rémy Lestienne é diretor honorário de pesquisa no Centro Nacional de Pesquisa Científica da França (CNRS). Ele é autor de vários artigos e livros sobre o tema da emergência, sendo o mais recente, Dialogues sur l’émergence. Editora Le Pommier, 2012. Email: remy.lestienne@bbox.fr

LISTA PARCIAL DE GRUPOS DE PESQUISA
TRABALHANDO NO BRASIL SOBRE A
EMERGÊNCIA NAS CIÊNCIAS

NOME DO GRUPO

GRUPO INTERDISCIPLINAR CLE
AUTO-ORGANIZAÇÃO

LÍDERES DO GRUPO

ÍTALA MARIA LOFFREDO
D'OTTAVIANO; MARIA EUNICE
QUILICI GONZALEZ

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS HUMANAS; FILOSOFIA

LINHAS DE PESQUISA

Auto-organização e ciência cognitiva;
Auto-organização e ciência dos
sistemas; Auto-organização e ciências
da vida e processos criativos

INSTITUIÇÃO

UNICAMP

HOMEPAGE

[http://www.cle.unicamp.br/
autoorganizacao/](http://www.cle.unicamp.br/autoorganizacao/)

NOME DO GRUPO

DECISÃO E CONSCIÊNCIA

LÍDER DO GRUPO

GABRIEL JOSÉ CORRÊA MOGRABI

ÁREA DOMINANTE

FILOSOFIA

LINHAS DE PESQUISA

Epistemologia da neurociência;
Filosofia da mente

INSTITUIÇÃO

UFMT

EMAIL

gabriel.mograbi@gmail.com

NOME DO GRUPO

LABORDAM

LÍDERES DO GRUPO

ANA MARIA PELLEGRINI; CYNTHIA
Y HIRAGA

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS DA SAÚDE; EDUCAÇÃO
FÍSICA

LINHAS DE PESQUISA

Aprendizagem motora; Controle
motor; Desenvolvimento motor

INSTITUIÇÃO

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS,
UNESP/RIO CLARO

EMAIL

ampelligrini@rc.unesp.br

NOME DO GRUPO

CONHECIMENTO E LINGUAGEM

LÍDERES DO GRUPO

LUIZ HENRIQUE DUTRA; CEZAR
AUGUSTO MORTAR

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS HUMANAS;
FILOSOFIA

LINHAS DE PESQUISA

Teorias do conhecimento;
Teorias de linguagem

INSTITUIÇÃO

UFSC

EMAIL

luiz.dutra@ufsc.br

NOME DO GRUPO

GRUPO ACADÊMICO DE ESTUDOS
COGNITIVOS

LÍDERES DO GRUPO

MARIA EUNICE QUILICI GONZALEZ;
MARIANA CLAUDIA BROENS

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS HUMANAS; FILOSOFIA

LINHAS DE PESQUISA

Ciência cognitiva, filosofia da mente
e pragmatismo; Criatividade, auto-
organização e identidade pessoal;
Externalismo versus internalismo no
estudo da cognição incorporada e
situada; Informação e cognição
ecológica

INSTITUIÇÃO

UNESP/MARÍLIA

EMAIL

gonzales@marilia.unesp.br

NOME DO GRUPO

LABORATÓRIO DE ENSINO, FILOSOFIA
E HISTÓRIA DA BIOLOGIA (LEFHBio)

LÍDERES DO GRUPO

CHARBEL EL-HANI; NEI DE FREITAS
NUNES NET

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS HUMANAS; EDUCAÇÃO

LINHAS DE PESQUISA

Pluralismo epistemológico;
Emergência de propriedades
e causalidade em sistemas
biológicos e mentais; Sistemas
de informação em seres vivos;
Conceito de vida

INSTITUIÇÃO

UFBA

EMAIL

charbel.elhani@gmail.com

NOME DO GRUPO

DPTO. DE CIÊNCIA
DA COMPUTAÇÃO

LÍDER DO GRUPO

JOSÉ MONSERRAT NETO

ÁREA DOMINANTE

FILOSOFIA

LINHAS DE PESQUISA

Informática e sociedade;
Sistemas complexos;
Neurociências

INSTITUIÇÃO

UFLA

EMAIL

rjrik@ufla.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DE ESTUDOS E PESQUISAS
INCLUSÃO SOCIAL

LÍDERES DO GRUPO

MARIA CANDIDA SOARES
DEL MASSO; ANNA AUGUSTA
SAMPAIO DE OLIVEIRA

ÁREA DOMINANTE

CIÊNCIAS HUMANAS E EDUCAÇÃO

LINHAS DE PESQUISA

Desenvolvimento, aprendizagem e
envelhecimento humano; Políticas
públicas e formação de RH;
Reabilitação e readaptação
profissional

INSTITUIÇÃO

UNESP/MARÍLIA

EMAIL

delmasso@marilia.unesp.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DO IF

LÍDER

RAIMUNDO ROCHA DOS SANTOS

ÁREA DOMINANTE

SUPERCONDUTIVIDADE E
MAGNETISMO

LINHAS DE PESQUISA

Spintrônica; Nanociência;
Magnetismo; Distribuição de carga e
supercondutividade de sistemas
correlacionados; Semicondutores
magnéticos diluídos

INSTITUIÇÃO

UFRJ

EMAIL

rrds@if.ufrj.br

NOME DO GRUPO

EMERGÊNCIA DA
LINGUAGEM ORAL

LÍDERES DO GRUPO

MIRIAN ROSE BRUM-DE-PAULA;
GIOVANA FERREIRA GONÇALVES

ÁREA DOMINANTE

LINGUÍSTICA, LETRAS E ARTES;
LINGUÍSTICA

LINHAS DE PESQUISA

Manipulação automática
da linguagem; Modelos
emergentistas em aquisição
da linguagem

INSTITUIÇÃO

UFPEL

EMAIL

brumdepaula@yahoo.fr

NOME DO GRUPO

LABORATÓRIO DE MATERIAIS
E BAIXAS TEMPERATURAS

LÍDER DO GRUPO

MARCELO KNOBEL

ÁREA DOMINANTE

FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA

LINHAS DE PESQUISA

Materiais amorfos;
Materiais nanocristalinos;
Supercondutividade

INSTITUIÇÃO

UNICAMP

HOMEPAGE

<http://portal.ifi.unicamp.br/dfmc/lmbt>

NOME DO GRUPO

GRUPO DE ESTRUTURA ELETRÔNICA E
FENÔMENOS COLETIVOS NA MATÉRIA
CONDENSADA

LÍDER

MUCIO AMADO CONTINENTINO

ÁREA DOMINANTE

SUPERCONDUTIVIDADE E
MAGNETISMO

LINHAS DE PESQUISA

Transições de fase quânticas, férmions
pesados, supercondutividade, sistemas
magnéticos desordenados, sistemas
fortemente correlacionados

INSTITUIÇÃO

CBPF

EMAIL

mucio@cbpf.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DE FLUIDOS COMPLEXOS

LÍDER

ANTONIO MARTINS
FIGUEIREDO NETO

ÁREA DOMINANTE

FÍSICA DE FLUIDOS COMPLEXOS

LINHAS DE PESQUISA

Ferrolfluidos, cristais
líquidos liotrópicos e
termotrópicos

INSTITUIÇÃO

USP

EMAIL

afigueiredo@if.usp.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DE SUPERCONDUTIVIDADE
E MAGNETISMO

LÍDER

WILSON AIRES ORTIZ

ÁREA DOMINANTE

SUPERCONDUTIVIDADE
E MAGNETISMO

INSTITUIÇÃO

UFSCAR

LINHAS DE PESQUISA

Supercondutores, materiais
magnéticos

INSTITUIÇÃO

UFSCAR

EMAIL

wortiz@df.ufscar.br

NOME DO GRUPO

LABORATÓRIO DE FÍSICA TEÓRICA
E COMPUTACIONAL

LÍDER

MAURÍCIO DOMINGUES
COUTINHO FILHO

ÁREA DOMINANTE

FÍSICA ESTATÍSTICA, TEORIA DE
CAMPOS E SIMULAÇÃO NUMÉRICA.

LINHAS DE PESQUISA

Transições de fase e fenômenos
críticos; Caminhadas aleatórias e
estatística de polímeros;
Antiferromagnetos desordenados;
Sistemas eletrônicos fortemente
correlacionados

INSTITUIÇÃO

UFPE

EMAIL

mdcf@ufpe.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DE FÉRMIONS
PESADOS, COMPOSTOS
SUPERCONDUTORES E SISTEMAS
NANOESTRUTURADOS

LÍDER

ELISA MARIA BAGGIO SAITOVITCH

ÁREA DOMINANTE

SUPERCONDUTIVIDADE E
MAGNETISMO

LINHAS DE PESQUISA

Materiais fortemente correlacionados
e nanoestruturados; Férmions
pesados; Supercondutores;
Óxidos complexos e
filmes nanoestruturados

INSTITUIÇÃO

CBPF

EMAIL

elisa@cbpf.br

NOME DO GRUPO

GRUPO DE PROPRIEDADES ÓPTICAS E
MAGNÉTICAS DOS SÓLIDOS (GPOMS)

LÍDER

PASCOAL JOSÉ GIGLIO PAGLIUSO

ÁREA DOMINANTE

SUPERCONDUTIVIDADE E
MAGNETISMO

LINHAS DE PESQUISA

Férmions pesados;
Supercondutividade a alta
temperatura crítica; Novos materiais;
Sistemas fortemente correlacionados;
Nanomateriais magnéticos

INSTITUIÇÃO

UNICAMP

EMAIL

pagliuso@ifi.unicamp.br

NOME DO GRUPO

DEPTO. DE ENGENHARIA DE
COMPUTAÇÃO E SISTEMAS DIGITAIS

LÍDER

JOSE SIDNEI COLOMBO MARTINI

ÁREA DOMINANTE

ENGENHARIAS; ENGENHARIA
DA COMPUTAÇÃO

LINHAS DE PESQUISA

Computação e sistemas complexos;
Simulações computacionais de
sistemas e propriedades emergentes

INSTITUIÇÃO

USP

EMAIL

pcc.chefia@poli.usp.br

AVALIAÇÃO, COMUNICAÇÃO E PERCEPÇÃO DE RISCOS ASSOCIADOS A DESASTRES NATURAIS: UMA CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS AMBIENTAIS

*Gabriela Marques Di Giulio
Bernardino Ribeiro Figueiredo
Lúcia da Costa Ferreira*

O terremoto registrado na região de Áquila às 3h30 do dia 06 de abril de 2009 atingiu 6,3 na escala Richter. Além da cidade de Áquila, outros 20 municípios vizinhos foram afetados pelo abalo sísmico, que matou 308 indivíduos e feriu pelo menos 1.500. Entre 10 mil e 15 mil residências foram danificadas ou destruídas e cerca de 80 mil habitantes tiveram de deixar, temporariamente ou não, suas casas (1). Alexander (2010), ao fazer uma análise sobre a política de governo e a resposta dada ao desastre, argumenta que o terremoto foi precedido por anomalias em ondas de rádio, luzes de terremoto, irregularidades magnéticas, fluxos de urânio nas águas subterrâneas e mudanças ionosféricas. Todavia, nenhum desses eventos precursores teria permitido uma previsão em curto prazo para ser emitida ao público (2). O autor se refere à decisão da Comissão Nacional de Grandes Riscos em manifestar publicamente, após reunião realizada no dia 31 de março de 2009, que a ocorrência de um grande terremoto naquela região era improvável. A reunião teria sido motivada pelo grande número de pequenos terremotos que ocorreram perto de Áquila nas semanas anteriores e pela previsão de um cientista amador que, ao observar os eventos ocorridos,

teria divulgado que um terremoto de grandes proporções ocorreria na região. Como argumenta o autor, depois do terremoto, foram iniciados procedimentos legais para determinar se teria havido alguma falha por parte da Comissão na sua manifestação.

Neste artigo, os autores tomam esses fatos como ponto de partida para uma reflexão teórica sobre (i) os aspectos que circundam o processo de avaliação, comunicação e gerenciamento de risco; (ii) a necessidade de incorporar uma abordagem integrada de avaliação e caracterização do risco na educação dos profissionais envolvidos em estudos ambientais.

RISCO: FENÔMENO REAL E CONSTRUÇÃO SOCIAL Nas avaliações técnicas de risco, nos estudos de engenharia e de geociências, por exemplo, o risco é entendido como um evento adverso, um atributo físico, com determinadas probabilidades objetivas de provocar danos, e pode ser estimado através de cálculos quantitativos de níveis de aceitabilidade que permitem estabelecer padrões através de diversos métodos, como predições estatísticas, estimação probabilística do risco e comparações de risco/benefício (3).

Essa perspectiva, atrelada à abordagem do objetivismo natural científico sobre perigos (4), falha em reconhecer que os fatos científicos são situados e interpretados em contextos culturais e políticos.

Para superar essas limitações, a abordagem do relativismo cultural sobre perigos enfatiza o aspecto contextual das respostas ao risco, argumentando que os fatores socioculturais são significativos na compreensão das resistências e controvérsias existentes e nas percepções que os indivíduos e grupos sociais têm sobre os riscos (5).

Para compreender e lidar com os riscos atuais, Beck pro-

põe a integração dessas duas abordagens, assumindo, assim, a ideia de que os riscos existem e são fenômenos reais, mas que a natureza e as causas dos riscos são conceitualizadas e enfrentadas diferentemente pelas sociedades contemporâneas ocidentais, quando comparadas com períodos anteriores.

A abordagem proposta por Beck traz à tona os conflitos e contradições que marcam o processo de negociação sobre os riscos nas sociedades contemporâneas, inclusive os associados a desastres naturais – como o caso do terremoto de Áquila. Esses conflitos e controvérsias estão associados à própria produção de conhecimento, ainda fragmentada entre as disciplinas, enquanto os riscos são complexos; e ao fato de que a ciência, ao sustentar e encobrir a produção de perigos e ameaças, passa a ter sua autoridade questionada (4; 5). Evidencia também os elementos presentes no processo de avaliação de risco: complexidade, incerteza e ambiguidade. Estes elementos não estão relacionados às características intrínsecas dos perigos e dos riscos, mas ao estudo e à qualidade do conhecimento disponível sobre os riscos e perigos (6).

O problema é que nem sempre esses elementos são de fato reconhecidos e tomados em consideração pelos próprios cientistas, pelos tomadores de decisão e pelo público em geral. Os eventos que precederam o terremoto em Áquila, a decisão da Comissão Nacional de Grandes Riscos em divulgar que, apesar daqueles acontecimentos, um terremoto de grandes proporções era improvável na região, os procedimentos legais para determinar se houve falha por parte da Comissão na sua manifestação, a cobrança por justiça e atribuição de culpa por parte do público e a própria sentença condenatória revelam a dificuldade intrínseca em lidar com essas três características básicas do próprio conhecimento científico.

Considerar esses elementos e também os fatores que influenciam as percepções e atitudes coletivas e individuais frente aos riscos é fundamental para que os objetivos da avaliação de risco, que incluem a proteção à saúde e ao ambiente através da geração de informações e subsídios à regulação dos riscos e aos processos decisórios, possam ser alcançados.

PERCEPÇÃO E COMUNICAÇÃO DE RISCO Um estudo realizado por pesquisadores italianos buscou identificar as percepções dos moradores de Áquila acerca dos riscos de ocorrência de terremotos na região e a capacidade de prevenção dos

indivíduos e da comunidade local (7). O estudo envolveu a realização de uma pesquisa aplicada a 151 moradores feita logo após o terremoto e apontou que, antes de 2009, os moradores de Áquila consideravam improvável a ocorrência de um terremoto de grande magnitude na cidade e se mostravam excessivamente otimistas sobre a capacidade de suas casas resistirem a um evento como este – mesmo considerando que boa parte das casas antigas fora construída com materiais impróprios para suportar a ocorrência de um abalo sísmico de maior magnitude (7). Esse estudo sinaliza que os residentes locais tinham uma baixa percepção do risco, apesar de Áquila ter uma longa história sísmica e da própria sequência de leves abalos registrados na cidade desde dezembro de 2008. Indica também que a maioria não tinha um senso do imediatismo da ameaça durante esses pequenos abalos que precederam o choque principal (7).

Os autores do estudo argumentam ainda que a baixa percepção dos moradores evidencia um discurso público ineficiente sobre perigos e riscos sísmicos. Para esses autores, uma comunicação simples e direta por parte das autoridades responsáveis pelo gerenciamento desses riscos sobre a impossibilidade de prever terremotos com precisão e sobre os riscos apresentados por edifícios antigos da cidade poderia ter provocado discussões na comunidade sobre estratégias de preparação e mitigação associadas à ocorrência de um evento futuro. Além disso, argumentam que deveria ter havido esforços para educar e treinar as gerações mais jovens sobre estratégias de gerenciamento de risco tanto nas escolas como em atividades organizadas pelas agências responsáveis pela gestão de risco e emergência, uma vez que estudos anteriores já indicavam uma “desatualização” do conhecimento local – em particular dos mais jovens – sobre a ocorrência de terremotos na região (7).

As conclusões desse estudo constituem uma ponte interessante para uma breve reflexão sobre comunicação e percepção de risco.

A literatura mostra que os primeiros esforços e ações relacionados à comunicação de risco estavam associados apenas à prática de convencer ou transmitir informações entre as partes interessadas sobre os riscos ao ambiente e à saúde humana, ações e políticas implementadas para gerenciar ou controlá-los. Essas estratégias estavam limitadas ao chamado modelo de déficit de conhecimento, no qual prevalece a visão de que o “público leigo” é ignorante sobre ciência ambiental e saúde; é irracional nas suas res-

postas aos riscos e, portanto, deve ser mais bem informado e convertido para uma visão mais objetiva (8). Esse modelo, ainda adotado em algumas situações como mostram por exemplo estudos conduzidos no Brasil (9), apresenta diversas limitações, especialmente porque falha em considerar como as mensagens são compreendidas pelo receptor, subestima o contexto em que a comunicação ocorre, não engaja o público nos debates sobre riscos e não considera suas perspectivas no processo de tomada de decisão.

Hoje, diversos autores defendem uma comunicação de risco participativa, calcada na promoção de um diálogo sensível às necessidades da comunidade que vivencia situações de riscos, na integração do público no processo de gerenciamento do risco e no estabelecimento de uma relação de confiança entre público, pesquisadores e autoridades (6; 10; 11).

Indo além das estratégias de comunicação, o diálogo entre quem produz conhecimento científico e quem usa esse conhecimento para tomar decisões passa também pela compreensão de como os indivíduos percebem os riscos.

O termo percepção de risco denota o processamento de sinais físicos e/ou informações sobre eventos ou atividades potencialmente perigosos e a formação de julgamento sobre a seriedade, probabilidade e aceitabilidade de um respectivo evento ou atividade (6).

Entre os fatores sociais e culturais que influenciam a percepção de risco estão, por exemplo, os julgamentos estéticos, variáveis contextuais, imagens semânticas, valores, efeitos da comunicação (incluindo a comunicação feita por autoridades e especialistas e as informações divulgadas pela mídia) e confiança nas organizações e instituições envolvidas nos seus diversos níveis na regulação, análise e gerenciamento do risco (6).

A estratégia da Comissão Nacional de Grandes Riscos em assegurar aos moradores que a ocorrência de um grande terremoto era improvável certamente teve efeitos nas percepções de risco dos moradores e nas suas atitudes, como: (i) percepções individuais e coletivas mais baixas sobre o risco de ocorrência de um terremoto de maior magnitude (reforçadas pelas percepções que os indivíduos já tinham mesmo antes de receberem essa informação); (ii) resistência dos moradores em saírem de suas residências alegando que a informação recebida era tranquilizadora; (iii) falta de preparo dos moradores para enfrentarem uma situação de desastre (também associada às falhas de comunicação e de esforços de educação e treinamento, por parte das

autoridades responsáveis); (iv) a relação de desconfiança instaurada, a legitimidade da Comissão posta em cheque, a necessidade de atribuição de culpa e responsabilidade pelo ocorrido e pela possível falta de preparo dos moradores em virtude da informação divulgada anteriormente.

Esses efeitos podem ser analisados à luz da abordagem da amplificação social do risco (6), que assume que a percepção de risco é, sobretudo, determinada pela forma como o risco é comunicado através da mídia e de outras fontes – incluindo cientistas e autoridades. A análise de como essas informações são comunicadas pode explicar, assim, a amplificação ou a atenuação das preocupações relacionadas a determinado risco.

Neste caso o privilégio do acesso à informação (tranquilizadora) fornecida pela Comissão Nacional de Grandes Riscos pode ter contribuído para a subestimação do risco e diminuição das preocupações relacionadas a esse risco. Essa atenuação, os prejuízos advindos com o terremoto, que vão muito além dos prejuízos ao ambiente e à saúde humana, e a própria pressão pública pela informação incorreta divulgada podem ser algumas das explicações possíveis para que fossem iniciados procedimentos legais para determinar se houve alguma falha por parte da Comissão no seu trabalho e no comunicado feito.

POR UMA (NOVA) DISCIPLINA NOS CURSOS AMBIENTAIS Ao refletir sobre o caso italiano é possível pensar também em estudos conduzidos no Brasil sobre situações de risco associadas à exposição ambiental e humana ao chumbo (9) e a mudanças ambientais e climáticas (12). Em comum, esses estudos mostram que a falta de uma compreensão sobre como os indivíduos percebem os riscos aos quais estão potencialmente expostos e as perspectivas e estratégias ainda limitadas de comunicação, avaliação e gerenciamento de risco, que reconhece aos técnicos a propriedade da verdade e o dever de encontrar as soluções mais corretas para uma população tida como cientificamente limitada e emocionalmente vulnerável (13), interferem diretamente no diálogo e na própria relação estabelecidos entre os atores sociais. Esses estudos revelam ainda a necessidade de incorporar uma abordagem integrada de avaliação e caracterização do risco na educação dos profissionais envolvidos em estudos ambientais.

Neste artigo defende-se a proposta de criação de uma disciplina que contemple abordagens teóricas e metodológicas de avaliação, percepção e comunicação de risco nos

cursos ambientais e de geociências, o que contribuiria para a formação dos profissionais que têm de lidar com o papel da informação e dos demais elementos que moldam as percepções de risco.

Como Liverman e Jaramillo (2011) argumentam, poucos cientistas – em particular os da área de geociências – estão aptos a lidar com questões da área de comunicação, apesar da sua importância. A educação nas “geociências convencionais”, como reconhecem esses autores, ainda prepara mal o cientista para a comunicação com o público e com a mídia.

Essa disciplina poderia ajudar a melhor preparar esses profissionais a lidar com essa e outras atribuições cada vez mais presentes e urgentes em suas práticas cotidianas e que certamente extrapolam os laboratórios e gabinetes de pesquisa. Dentro de uma perspectiva interdisciplinar, essa disciplina buscaria incorporar: (i) a ampliação do debate teórico sobre risco; ii) o entendimento de que estudos e estratégias de enfrentamento de situações de risco requerem abordagens que incorporem dimensões subjetivas e objetivas; iii) a superação da perspectiva limitada de avaliação do risco; iv) a discussão sobre métodos para aferir percepções de risco e sobre estratégias de comunicação de risco; v) a compreensão de que as decisões em situações de risco, por sua complexidade, controvérsias, ambiguidades e incertezas, não podem ser baseadas apenas no conhecimento técnico e devem incluir a participação das comunidades afetadas. Esse último item passa pela discussão das possibilidades, desafios e limitações da prática de um processo de produção de conhecimento mais participativo, no qual a ciência esteja aberta ao debate, as fronteiras entre especialistas e não especialistas sejam reduzidas e a legitimidade da decisão venha do exercício do debate aberto (14). Como argumenta Lindell (2011), envolver as comunidades locais no processo de avaliação, gerenciamento e mitigação dos riscos é importante porque elas têm importantes informações sobre o ambiente em que vivem e suas atitudes e percepções são fundamentais para identificar prioridades e medidas que podem ser aceitáveis e que podem contribuir para melhorar a qualidade de vida das pessoas e promover uma convivência mais sustentável entre elas e o ambiente natural.

Gabriela Marques Di Giulio é jornalista e doutora em ambiente e sociedade, docente do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP.)

Bernardino Ribeiro Figueiredo é geólogo e doutor em geologia, professor titular do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Lúcia da Costa Ferreira é ecóloga e doutora em ciências sociais, pesquisadora do Nepam-Unicamp.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Liel, A.B.; Eeri, M.; Corotis, R.B.; Camata, G.; Sutton, J.; Holtzman, R.; Spacone, E. “Perceptions of decision-making roles and priorities affecting rebuilding after disaster: the example of L’Aquila, Italy. 2012”. Disponível em: http://bechtel.colorado.edu/~liel/publications_files/Lieletal_PerspectivesLAquila_Text_withFigures.pdf, acessado em 23/01/2013.
2. Alexander, D.E. “The L’Aquila Earthquake of 6 April 2009 and Italian Government Policy on Disaster Response”. *Journal of Natural Resources Policy Research*, vol. 2, nº. 4, p. 325–342, 2010.
3. Guivant, J.S. “A trajetória das análises de risco: da periferia ao centro da teoria social”. *Revista Brasileira de Informações Bibliográficas*, Anpocs, 46, p. 3-38. 1998.
4. Beck, U. *Ecological politics in an age of risk*. Cambridge: Polity Press, 1995.
5. Zinn, J.O. (ed.). *Social theories of risk and uncertainty — an introduction*. Oxford: Blackwell Publishing, 2008.
6. Renn, O. *Risk governance: coping with uncertainty in a complex world*. London: Earthscan, 2008.
7. Marincioni, F.; Appiotti, F.; Ferretti, M.; Antinori, C.; Melonaro, P.; Pusceddu, A.; Oreficini-Rosib, R. “Perception and communication of seismic risk: The 6 April 2009 L’Aquila Earthquake case study”. *Earthquake Spectra*, vol. 28, nº. 1, p. 159- 183, 2009.
8. Owens, S. “Engaging the public: information and deliberation in environmental policy”. *Environment and Planning A*, nº 32, p. 1141-1148, 2000.
9. Di Giulio, G.M. *Risco, ambiente e saúde: um debate sobre comunicação e governança do risco em áreas contaminadas*. São Paulo: Annablume, 2012.
10. Boholm, A. Editorial: “New perspectives on risk communication: uncertainty in a complex society”. *Journal of Risk Research*, vol. 11, nº 1-2, p. 1-3, 2008.
11. Lundgren, R.; McMakin, A. *Risk communication: a handbook for communicating environmental, safety and health risks*. Ohio: Battelle Press, 2000.
12. Di Giulio, G.M.; Viglio, J.E.; Ferreira, L.C. “Building dialogue between ‘those who make science’ and ‘those who use science to make decisions’: a Brazilian case study”. In: *Planet Under Pressure*, Londres, 2012.
13. Lima, M.L. “Ciência e saber comum: introdução”. In: Gonçalves, M.E. (org). *Cultura científica e participação pública*. Celta Editora, Oeiras, p. 103-107, 2000.
14. Felt, U.; Wynne, B. “Science and governance: taking European knowledge society”, 2007.

OS 100 ANOS DE TOMIE OHTAKE

PRECISÃO E FORÇA DOS GESTOS DELICADOS SOBRESSAEM-SE NAS IMAGENS CRIADAS PELA ARTISTA



Denise Andrade

Telas que ressoam as imagens das grandes nebulosas feitas por telescópios. Linhas, manchas, círculos e cores, em gravuras e pinturas, emergem da textura e força das pinceladas. Com elas, adentramos o universo criado pela artista plástica Tomie Ohtake. Também pelos painéis e esculturas de grandes dimensões criados para espaços públicos: dezenas de obras integram a paisagem de algumas cidades brasileiras, com destaque para São Paulo – onde Ohtake vive e trabalha – e para os quatro grandes painéis da Estação Consolação do metrô, na capital paulista.

Pintora japonesa naturalizada brasileira, Tomie Ohtake nasceu em Kyoto. Aos 23 anos, veio ao Brasil para visitar o irmão e, por conta da Segun-

da Guerra Mundial, não regressou ao Japão. De sua chegada ao país, costuma lembrar-se do impacto que a luminosidade lhe causou ao desembarcar no porto de Santos: as cores vivas da paisagem e do sol – que faziam, segundo ela, até o próprio ar parecer amarelo – estariam, posteriormente, presentes em muitas de suas criações. Ohtake começou a pintar aos 39 anos. Os primeiros trabalhos foram figurativos, mas a abstração logo ganhou predominância em sua obra. “Espaços cromáticos e cores intensas são fortes características do estilo de Tomie Ohtake e estão presentes na maioria dos seus trabalhos”, destaca Tatiane Elias, historiadora da arte e pesquisadora da Stuttgart State Academy of Art and Design, na Alemanha.

Instituto Tomie Ohtake



Tomie Ohtake na abertura da mostra **Correspondências** (2013); e obra sem título de 1978 (acima)

Elias conta que entrou em contato com as pinturas de Tomie Ohtake ao estudar o abstracionismo brasileiro e a formação do chamado Grupo Seibi, nome formado pelas iniciais que, em japonês, significam Grupo de Artistas Plásticos de São Paulo. Criado em 1935, reuniu artistas japoneses cuja formação artística se deu inteiramente no Brasil. Flávio Shiró e Manabu Mabe também fizeram parte do grupo, artistas que, como Ohtake, aderiram mais tardiamente a ele, após sua reorganização e retomada de suas atividades – interrompidas por conta da guerra – a partir do final dos anos 1940.

“A imigração de artistas japoneses ao Brasil contribuiu significativamente para o cenário da arte brasileira”, afirma Elias ao lembrar a importância do grupo Seibi e, ressaltar que, nas obras de Ohtake, há um intenso diálogo entre o Brasil e o Japão, entre as diferenças estéticas e culturais desses dois países: “Ao criar sua arte, Tomie Ohtake conjuga de maneira singular as duas culturas”.

Ohtake extrai a força das cores da paisagem brasileira; inspira-se também na simplicidade e precisão do *haikai* – poesia de intensa expressão através do uso de poucas palavras – e, ainda, valoriza os espaços vazios, presentes na arquitetura dos templos e jardins de Kyoto. Sua busca é por afetar o espectador num engajamento imediato com suas obras e com o próprio gesto de pintar. “As formas, os contrastes das cores intensas e primárias – o vermelho, principalmente – querem seduzir o espectador. Suas pinceladas e as esculturas curvas, abertas e soltas no espaço são elementos marcantes do estilo de Ohtake”, lembra Elias.

Rigor e simplicidade Em sua economia de traços e cores, a pincelada ganha evidência nos trabalhos da artista plástica. Ato pictórico que se distingue da agitação frenética e da veemência da *action painting* de Jackson Pollock, aproximando-se mais do gesto de Mark Rothko, pintor americano de origem russa que, juntamente com Pollock, é considerado um dos grandes nomes do expressionismo abstrato: “O gesto pictórico de Rothko é o gesto pacato, uniforme, do caiador que pinta um muro; pouco a pouco, seguindo o ritmo regular do movimento que espalha a cor, percebe-se que a tinta altera a situação ambiental, e que está nascendo um espaço onde não havia senão uma interrupção na continuidade do espaço”, escreve o crítico e historiador da arte Giulio Carlo Argan, em seu livro *Arte Moderna* (Companhia das Letras, 1992, p. 623).

Tal como em Rothko – a quem Ohtake se refere como um mestre

– a contenção e o comedimento do gesto de pintar da artista, a variação e a suavidade do ritmo da mão que vai criando texturas, manchas, linhas e cores nas telas, querem fazer chegar ao espectador sensações que afetam não somente o olhar, mas todo o corpo. A criação dessa sensibilidade, através da abstração que prescinde de referentes externos à obra – como a situação vivida pela artista ou alguma referência a um contexto social ou realidade histórica – é alcançada, por Ohtake, numa combinação paradoxal entre o simples e o complexo.

HOMENAGENS Para comemorar o centenário da artista, o Instituto Tomie Ohtake – projetado por seu filho, o arquiteto Ruy Ohtake, programou a realização de três exposições ao longo de 2013. No primeiro semestre, a mostra “Correspondências” buscou tecer aproximações entre a obra de Ohtake e a de diversos artistas contemporâneos como Mira Schendel, Lia Chaia, Cildo Meireles e Nuno Ramos.

De agosto ao final de setembro aconteceu, por sua vez, a exposição “Influxos das Formas” para a qual os curadores, Agnaldo Farias e Paulo Miyada – dentre os milhares de esboços que a artista fez durante mais de seis décadas de trabalho e das centenas guardadas em seu ateliê – selecionaram colagens, desenhos, cadernos, croquis e maquetes de esculturas. Em novembro, mês em que a artista completa 100 anos, o Instituto deverá inaugurar a exposição, “Gesto e Razão Geométrica”.

Carolina Cantarino

CONSUMO CULTURAL

ARTESANATO PAN-ÉTNICO ATENDE DEMANDA POR PRODUTOS EXÓTICOS

Dream catchers ou apanhadores de sonhos são amuletos colocados no quarto de dormir para afastar os pesadelos das crianças. Embora sejam parte da tradição dos índios Ojibwe, que vivem nos Estados Unidos e no Canadá, eles são produzidos em larga escala na pequena Vila de Tegalalang, que fica na ilha de Bali, Indonésia. Lá também são fabricados o Didjeridu, um instrumento musical aborígene australiano e máscaras étnicas que, dependendo do lugar, são vendidas como sendo da tradição Asmat, grupo da Nova Guiné, dos Sasak, que vivem na Ilha Lombok, Indonésia, ou ainda como africanas. Todos esses objetos, caracterizados como sendo artesanato étnico, são produzidos para serem vendidos no comércio local e também são exportados para todo mundo.

Usualmente o termo étnico é associado a um grupo cultural ou região específica. “O turismo contemporâneo, no entanto, estabelece um vínculo fictício com esses grupos étnicos, gerando uma proliferação de símbolos e práticas estéticas: arte, estilos musicais e práticas espirituais são replicáveis e tornam-se disponíveis para o consumo”, explica Jeniffer Esperanza, antropóloga

do Beloit College, Wisconsin (EUA). Desde 1999, ela investiga esse artesanato popular, tribal ou étnico. “Enquanto alguns desses objetos claramente fazem referência a uma tradição étnica local, outros são o que eu chamo de pan-étnicos porque são baseados em imagens estereotipadas, produzidas por artesãos locais a partir de fotografias, desenhos e instruções dadas a eles por estrangeiros ou comerciantes intermediários, sem nenhuma conexão cultural com esse artesanato”, afirma a antropóloga. Disso resulta uma coleção de símbolos, objetos e práticas de um grupo cultural que são descontextualizados, reapropriados e realocados, fazendo com que sua origem torne-se irrelevante ou mesmo desconhecida para quem os consome.

Essa coleção de símbolos e práticas, entretanto, não é aleatória. O encantamento dos ocidentais por práticas espirituais como o budismo, reiki, yoga, entre outras, é reproduzido em camisetas, spas, retiros onde essas pessoas buscam modos de ser e de viver que sejam opostos à sua própria experiência de vida, sempre esperando encontrar algo exótico e diferente. “Pergunto a eles: por que não estátuas da Virgem Maria ou São Francisco de Assis, e a resposta é que esses símbolos são muito familiares e, por isso, não atendem as necessidades desse consumidor moderno”, conta a pesquisadora.

É bastante provável que o turista em Bali não saiba que os apanhadores de sonhos não pertençam à cultura da ilha e menos ainda que seu objetivo



Mercado de artesanato em Bali

é proteger as crianças já que, segundo a tradição indígena, os adultos já sabem interpretar seus sonhos, sejam eles bons ou ruins. A proliferação desses símbolos e produtos pode gerar associações equivocadas, portanto. Isso aconteceu, por exemplo, em 2002, quando a revista norte-americana *Time*, ao noticiar atentados terroristas em Bali, estampou em sua capa uma mulher de cabelos claros que tinha as mãos adornadas com tatuagens menhdi. Feitas com corantes à base de henna, elas são comuns entre as mulheres do sul da Ásia e do Oriente Médio, mas não fazem parte da herança cultural de Bali. De acordo com a pesquisadora, essa prática chegou à Indonésia na última década como um serviço cosmético para turistas. “O que representou Bali naquele momento trágico foram

um indivíduo e uma prática simbólica que não fazem referência direta ao povo balinês ou à sua cultura”, afirma Jeniffer.

VÁ, ANTES QUE ACABE O uso indevido de símbolos não é um fenômeno novo, especialmente no turismo, esfera privilegiada no sentido de criar imaginários, símbolos e imagens para serem consumidos em um mercado que é um dos que mais cresce no mundo. Bali é frequentemente descrita como uma ilha paradisíaca e exótica. Seu diferencial é aliar as belezas naturais com costumes ancestrais que não foram contaminados pelo modo de vida ocidental. O *Lonely Planet*, um dos guias turísticos mais famosos do mundo, afirma que a ilha na Indonésia é mais do que um lugar, é um modo de vida. Como essas imagens e interpretações são incorporadas pela população local? Quais as implicações dessa estética pan-étnica no modo de vida dos balineses? Para Jeniffer Esperanza, ao longo do século XX atores estrangeiros (colonizadores, turistas etc), introduziram em Bali diversas produções culturais que diziam mais sobre eles mesmos, do que sobre os balineses. Interessada em manter e ampliar o mercado turístico, a população local incorporou essas práticas, reforçando uma falsa noção de “nós” *versus* “os outros” ou “moderno” *versus* “primitivo”, que tanto agrada aos turistas. Bali é mostrada como um modelo cultural oposto ao das sociedades modernas, especialmente em relação à Europa, América do Norte, Austrália e Japão.

Sua consolidação como um dos principais destinos turísticos na Indonésia está fortemente ligada à promoção da ideia de que a cultura balinesa está em perigo de extinção. “A criação e promoção de um paraíso que está quase extinto dá ao turista uma sensação de nostalgia. Quem visita a ilha tem o privilégio de ver um paraíso antes que ela se torne moderna”, argumenta Jeniffer. “Muitos turistas com os quais eu conversei ficaram desapontados ao encontrar tanto tráfego, telefones celulares, antenas parabólicas, restaurantes de *fast food*. O motivo da frustração é Bali estar ficando muito parecida com o Ocidente”, conta. Para ela, essa suposta fragilidade não é problemática para os balineses. Depois de séculos de contato com a Malásia, Índia, China e os Países Baixos, a cultura balinesa, dita tradicional é, na verdade, uma amálgama de várias estéticas incorporadas ao longo do tempo. “Em outras palavras, pertencer a muitas culturas não é um conceito novo para os balineses”, diz ela.

BALI MODERNA Intelectuais como Edward Said, autor do clássico *Orientalismo* (1978) e o norte-americano Dean MacCannell, que estuda o turismo contemporâneo, já discutiram amplamente essa ideia: de que para o Ocidente/moderno existir, deve haver um oposto: o Oriente/pré-moderno. “A ironia desse fenômeno é que o turista é tratado com serviços de formas de entretenimento trazidos para a ilha exatamente para satisfazê-los”, diz. É o caso das tatuagens mendhi, de retiros para prática da terapia japonesa reiki e dos *dream catchers* norte-americanos, já

citados. “Tecnologia, economia global e a mídia internacional são parte do tecido social e econômico em Bali, mesmo que isso não seja (ou não queira ser) percebido pelo turista”, acredita Jeniffer. O artesanato pan-étnico, esteja ele ou não ligado à tradição cultural da ilha, se integra nessa busca pelo que é antigo e raro.

A vila de Tegallalang, localizada no centro da ilha, produz e distribui objetos artísticos para o comércio local e para exportação. “Essa indústria permitiu aos artesãos locais desafiar os estereótipos como um lugar ou uma cultura congelados no tempo e intocados pela globalização”, conta Jeniffer. Segundo ela, esses artesãos não têm uma visão romântica sobre eles mesmos. Para eles, a capacidade de fazer uma grande variedade de esculturas em madeira e outros produtos exigidos por consumidores em todo o mundo é motivo de orgulho. “A exportação das artes étnicas, ao contrário da indústria do turismo, permite ao balinês local, renegociar sua identidade para se tornar cidadão moderno e cosmopolita, ligado às redes sociais de todo o mundo e versado em tradições estéticas fora das fronteiras de seu Estado-Nação”, acredita a antropóloga norte-americana.

A ARTE DOS OUTROS É preciso observar, no entanto, que os objetos pan-étnicos produzidos em Bali estão repletos de problemas éticos de autenticidade e direitos de propriedade intelectual. No processo de reapropriação cultural, o aborígene australiano, o índio Ojibwe ou a tatuadora indiana não foram consultados, não ganharam nada. “Nesse sentido, esse mercado de produtos

PADRE CÍCERO MADE IN CHINA

O romeiro que visitar Juazeiro do Norte, no Ceará, já poderá encontrar na cidade pequenas estátuas de resina, do padre Cícero, fabricadas na China. A novidade é que a estátua chinesa “canta”, graças a um chip com a gravação de uma das canções dos romeiros. Até pouco tempo atrás as estátuas do padre eram exclusividade de artesãos da cidade, os chamados santeiros, que trabalham em pequenas oficinas nos quintais das casas utilizando gesso. Segundo Jeniffer Esperanza, a China tem dominado o mercado mundial de fabricação desse tipo de artesanato. O Sudeste Asiático, particularmente a Indonésia, segue os chineses de perto.

artesanais perpetua uma prática de impor violência simbólica sobre grupos étnicos minoritários que já detêm pouco poder econômico e político dentro de seus próprios Estados-Nação”, aponta Jeniffer. Para ela, similarmente às tatuagens mendhi, deve-se perguntar como esses símbolos e imagens têm sido usados para representar pessoas ou lugares e, mais importante, deve-se fazer uma crítica a indústria do consumo que tenta afirmar nossa própria subjetividade por meio da mercantilização da estética étnica.

Patrícia Mariuzzo

AUTORES APROXIMAM FAUNA BRASILEIRA DE CRIANÇAS

O Brasil é um país megadiverso, uma das nações que detém maior biodiversidade do mundo, no entanto a fauna e a flora nativas são pouco conhecidas pela população brasileira. Um dos fatores que contribuem para esse cenário é a influência que a mídia exerce através de desenhos animados, filmes, jogos e livros infantis, nos quais o destaque são, frequentemente, os grandes mamíferos africanos. Esta é a principal razão pela qual uma criança de três anos reconhece o leão, a girafa e o elefante, ou ainda o panda, o urso e o lobo, mas dificilmente saberá quem é a anta, o lobo-guará, o peixe-boi ou o taman-

duá. Nesse cenário, os livros infantis mostram-se um instrumento eficaz para auxiliar na comunicação, introduzir e apresentar, desde a infância, algo genuinamente brasileiro para, quem sabe, despertar para a importância de se preservar essas espécies. Essa é a aposta da ilustradora Laura-beatriz e do escritor Lalau, que desde 1994, dedicam-se a divulgar a fauna e a flora brasileira por meio da poesia. A ideia da coleção *Brasileirinhos* (2000), por exemplo, surgiu quando a dupla constatou que os animais brasileiros estavam criticamente ameaçados, com muitas espécies em vias de extinção—seja pela destruição



Capas de livros da dupla ressaltam a biodiversidade brasileira

do habitat ou pelo tráfico, e concomitantemente eles perceberam que as crianças brasileiras praticamente não conheciam a fauna nacional. O livro foi uma estratégia que nasceu com esse intuito, de mostrar para as crianças os animais ameaçados, afinal: “o público infantil de hoje é quem, no futuro, vai ajudar a preservar o nosso planeta”.

Bem-te-vi e outras poesias (Cia das Letrinhas) foi o primeiro dos cerca de 40 títulos publicados pela dupla, dos quais destacam-se: *Belezura marinha* (2010), *Boniteza silvestre* (2007), a coleção *Brasileirinhos*, *Árvores do Brasil* (2011), *Passarinhos do Brasil* (2013), *Diário de um papagaio* (2007) e *Zum, zum, zum e outras poesias* (2007). Hoje, chegando aos quase 20 anos de parceria, a criação é resultante de uma conversa em busca de temas diferentes, divertidos e que acrescentem coisas boas na vida de uma criança.

Contrariamente à percepção de que conceitos científicos ligados aos animais poderiam ser inapropriados ou entediantes para crianças, os autores buscam sempre “levar surpresa,



Divulgação

Laurabeatriz e Lalau. “Adorava andar no mato, na beira da represa, viajar com meu avô, meu pai e meus tios para o Pantanal. Acho que esse sentimento pela natureza, que tenho forte e arraigado dentro de mim, facilitou as coisas na hora de escrever”, afirma Lalau

Fotos: reprodução



emoção, encantamento e, principalmente, diversão para os pequenos leitores. O lado científico fica por conta das informações que entram no conceito de criação dos livros”.

Laurabeatriz e Lalau são otimistas em relação à mudança de comportamento de jovens. As visitas que realizam em escolas têm mostrado que a fauna está muito mais conhecida agora do que quando foi lançado o primeiro volume de *Brasileirinhos* no ano 2000. Os livros não são, no entanto, o único esforço empregado na mudança deste quadro. “É importante levar o assunto não só nos livros, mas também na sala de aula, em casa, na televisão, aplicativos, internet. Depois de incontáveis visitas a escolas, descobrimos que existe um ponto muito positivo nisso tudo: as crianças gostam de discutir, ouvir, descobrir coisas novas a respeito, e elas se envolvem, se emocionam, se mobilizam. Motivar, ainda mais, esse sentimento, onde for possível, é fundamental, produtivo e dá certo”.

OUTRAS INICIATIVAS Outros autores vêm popularizando a fauna e a flo-

ra brasileira através da literatura. Entre eles destacam-se a autora, bióloga e escritora paulista Nurit Bensusan com a obra *Labirintos – Parques Nacionais*, premiada neste ano com o selo “O Melhor para a Criança”, na categoria informativo, pela Fundação Nacional do Livro Infantil e Juvenil (FNLIJ) e o médico, entomólogo e escritor de livros infantis Ângelo Machado, comprometido e preocupado com a fauna e a divulgação dos conhecimentos científicos.

Graziele Scalfi

MERCADO LITERÁRIO INFANTO-JUVENIL

A expansão da classe média brasileira proporcionou um momento favorável para a indústria editorial. O número de livrarias aumentou cerca de 8% desde 2009 e os espaços voltados para as crianças estão mais sofisticados e aconchegantes.

A venda de livros infantis ocupa o segundo lugar no ranking com 74% entre os tipos de livros comercializados pelas livrarias, de acordo com dados da Associação Nacional de livrarias (ANL). Os livros tradicionais competem com os livros-brinquedo interativos (*popups*, áudio etc), todos importados, em uma competição desleal que afeta, diretamente, o espaço dedicado aos nacionais.

HISTÓRIA E ARTE

A SÃO PAULO DO CINEMA: MODERNA E PÓS

“São Paulo não pode parar”. A 24 fotogramas ou 30 frames por segundo, a maior cidade brasileira emergiu e se consolidou, ao longo do século XX, como a face mais genuína da modernidade nacional. Diferente do Rio de Janeiro – destacado por suas belezas naturais, sua *Belle Époque* e sua associação ao *Ancien Régime* – e embora destituída do modernismo “nato” de Brasília – a capital nacional projetada –, São Paulo é, até hoje, identificada como expressão máxima da modernidade do país. Modernidade, porém, conservadora e ambígua em diversos aspectos. Arte urbana por excelência, o cinema ganha seus primeiros impulsos no Rio e em São Paulo. Particularmente em São Paulo, a prosperidade econômica – baseada na exportação do café, expansão das ferrovias e industrialização da cidade – demanda registros cinematográficos cada vez mais frequentes, conforme se verifica na afluência do “cinema de cavação” (cineastas pagos para realizar filmes sob encomenda) a partir de 1916, dos primeiros cinejornais regulares e das primeiras companhias produtoras do país. Segundo Ismail Xavier em *História e Documentário*, (livro organizado por Eduardo Morettin, Marcos Napolitano e Mônica Kornis. São Paulo: FGV, 2012), filmes como *Eletrificação da Com-*

panhia Paulista de Estradas de Ferro (perdido, 1923), *Ipiranga* (título atribuído, 1922) e, principalmente, *A Sociedade Anonyma Fabrica Votorantim* (1922), abordavam motivos da modernidade paulista sob uma estética essencialmente descritiva. Nesse filme, Xavier destaca o uso da panorâmica como recurso de linguagem que “(...) descortina quantidades – de gente, de máquinas, mercadorias (...)”, uma forma de acentuar que “(...) o moderno-industrial tem relação direta com a sociedade de massas e suas demandas”.

Com o cinema brasileiro povoado por profissionais europeus, não surpreende que algumas das mais notáveis imagens do país tenham sido organizadas por olhos estrangeiros. É assim que *São Paulo sinfonia da metrópole* (1929), de Alberto Kemeny e Rodolfo Lustig (originários da Hungria), surge, imbuído do espírito de filmes como *Berlim: sinfonia da metrópole* (*Berlin: die sinfonie der großstadt*, 1927), de Walter Ruttmann, ou ainda o pioneiro *Somente as horas* (*Rien que les heures*, 1926), de Alberto Cavalcanti.

Nos anos 1950, São Paulo continua a atrair atenção nacional como expressão da modernidade com o surgimento da Vera Cruz, estúdio de pretensões internacionais financiado pela burguesia paulista. No entanto, as imagens mais marcantes da metrópole talvez não tenham sido obra do maior projeto cinematográfico industrial que o país já teve. Segundo Andréa Barbosa no livro *São Paulo: cidade azul* (Alameda, 2012, p.68), é o cinema independente de Roberto Santos, em *O grande momento* (1957), que vai registrar a fa-

ce mais humana e familiar de “uma cidade que cresce diante dos olhos, mas é vista a partir do bairro, que ainda se permite acolhedor e otimista”. Quase dez anos depois, uma inversão: *São Paulo S.A.* (1965), de Luiz Sérgio Person, retrata, por meio da magnífica fotografia de Ricardo Aronovich, uma utopia ruidosa (e ruínosa), o colapso existencial de um personagem da classe média brasileira no seio da metrópole solar, vertical e opressiva – mas ao mesmo tempo lucrativa. A cena em que Carlos (Walmor Chagas) perambula desorientado pelo centro de São Paulo, intercalada a imagens de máquinas em atividade sob voz *off* do mesmo personagem, é claramente evocativa de filmes de vanguarda e do montagismo soviético dos anos 1920.

Nos anos 1960 e 70, São Paulo gesta parte significativa do Cinema Marginal, movimento de viva contestação e experimentalismo, na esteira do cinema moderno brasileiro (Cinema Novo). Em seguida, um cinema genuinamente popular emerge a partir dos filmes da chamada Boca do Lixo, região do centro paulistano onde pequenas produtoras realizavam uma variedade de filmes de baixo orçamento – e grande apelo popular.

O motivo de São Paulo como uma *harsh mistress*, guardiã de tesouros e desgraças para aqueles que sonham com a utopia da metrópole, repete-se numa série de filmes que giram em torno do tema da migração, do trabalhador interiorano que busca melhores condições de vida na cidade grande. É geralmente nesse contraste do homem arcaico com a modernidade urbana que a metrópole

revela suas facetas mais fascinantes, assustadoras e controversas. *O homem que virou suco* (1981), de Joaquim Batista de Andrade, reconstrói a trajetória de inúmeros migrantes nordestinos anônimos, aos quais se atribui a construção da maior metrópole da América do Sul. Trabalho e migração são temas de outros filmes como *Lilian M: relatório confidencial* (1975), de Carlos Reichenbach, e *A hora da estrela* (1985), de Suzana Amaral.

Nos anos 1980, São Paulo recobra o status de paisagem privilegiada num cinema notadamente urbano em seu estilo e temática. É nesse contexto que emerge o “Novo Cinema Paulista”, bem ilustrado pela “trilogia paulistana da noite”: os filmes *Cidade oculta* (1986), de Chico Botelho, *Anjos da noite* (1987), de Wilson Barros, e *A dama do Cine Shangai* (1988), de Guilherme de Almeida Prado. Para Andréa Barbosa, antropóloga do Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e autora do livro *São Paulo: cidade azul*, no cinema paulista dos anos 1980 “imagens de *skylines* dos altos dos prédios do centro e da Avenida Paulista são fartamente utilizadas e também nos remetem à questão da ambivalência e da ambiguidade da cidade”. Trata-se do cinema pós-moderno brasileiro gestado em São Paulo – ainda que Andréa Barbosa discorde do rótulo pós-moderno atribuído a esses filmes –, com influências da obra de diretores estrangeiros como Ridley Scott, Alan Parker, Lawrence Kasdan ou Luc Besson, entre outros. Esse cinema pós-moderno brasileiro é marcado pela fotografia de artistas



De cima para baixo: cena de *O Invasor* (2001); *Esta Rua tão Augusta* (1969), curta de Carlos Reichenbach; e *Ensaio sobre a cegueira* (2008)

como Chico Botelho e José Roberto Eliezer – este último responsável, segundo Machado pela “paulistanização” de um filme rodado no Rio de Janeiro: *A grande arte* (1991), de Walter Salles Jr.

Para Andréa Barbosa, o cinema paulista dos anos 1980 reinscreve São Paulo como “uma cidade noturna, azul, úmida, povoada de anjos e marginais (ou anjos marginais) que perambulam entre becos e muros

intermináveis” (*São Paulo: cidade azul*, p. 102). Acentua-se, portanto, o caráter labiríntico da mais moderna metrópole brasileira.

Com a extinção definitiva da Embrafilme, em 1990, o cinema nacional chegava ao estágio mais agudo de uma crise originária da década anterior, para dar seus primeiros sinais de retomada de produção por volta de 1993-4. No período que se convencionou chamar de Retomada (1994/5-2002), com a relativa descentralização da produção e o surgimento de novas gerações de cineastas, a maior metrópole brasileira ganhou retratos diferenciados.

A modernidade arquitetural e a verticalidade da “selva de pedra” dá lugar a olhares mais “subterrâneos” e “fragmentados”. As ruas de São Paulo reemergem como palco de investigações sobre as mais agudas contradições do país. Nesse contexto, *O Invasor* (2001), de Beto Brant, se apresenta como filme

acentuadamente crítico da corrupção transclassista e da violência social brasileira. Um dos filmes mais contundentes e engenhosos em sua problematização da metrópole no Brasil, pelo menos desde *São Paulo S.A.*, de Luís Sérgio Person.

Cosmopolita e provinciana a um só tempo, a São Paulo dos anos 2000 continua atraindo o olhar de cineastas estrangeiros, como no filme *Journey to the end of the night* (2006),

de Eric Eason, sobre pai e filho americanos proprietários de uma casa de prostituição, ou em *Cidade de plástico* (2008), de Nelson Yu Lik-wai, sobre a máfia chinesa. Incógnita, São Paulo também contribuiu com partes de sua “pele” de concreto para a criação da cidade imaginária de *Ensaio sobre a cegueira* (2008), de Fernando Meirelles. A Ponte Octávio Frias de Oliveira (a popular “Ponte Estaiada”, na zona sul), monumento controverso, bastante criticado pela opinião pública, conferiu à fantasia de Meirelles um caráter futurista inconfundível, típico dos bem conhecidos *disaster movies*.

Uma variedade de outros espaços característicos de São Paulo marcaram filmes com o “selo” da metrópole. A *skyline* da cidade, com a presença do edifício do Banespa, no centro de São Paulo, aparece por diversas vezes como espécie de “imagem-refrão” no filme *Cidade oculta* (1986), de Chico Botelho. A Avenida Paulista, coração financeiro e símbolo da modernidade do país, já hospedou uma variedade de sequências cinematográficas, dentre elas o delírio formal do curta *Palíndromo* (2001), de Phillipe Barcinski, metáfora da vertigem modernizadora que vitima o homem comum.

Em todos esses filmes, pode-se observar a sobreposição caleidoscópica de tempos na metrópole, arcaísmo e modernidade amalgamados ou em conflito – assim como a contribuição dramática da cidade por meio de seu “organismo” multiforme de aço, asfalto, vidro, plástico e concreto. São Paulo como labirinto do país.

Alfredo Suppia

PROJETO PARA ORQUESTRAR PROJETOS

À(s) comissão(ões) de autorização responsável(is); ao(s) comitê(s) dos bons costumes e modos do(s) campus(i); ao almoxarifado geral e a todos os seus subordinados; aos hermeneutas especializados em manuais de reserva técnica e em editais de distribuição de migalhas para primos pobres; ao grupo secreto da Ordem Iniciática da Santa Taxonomia Ascética Conspiratória responsável pelas categorias do currículo Lattes; aos pareceristas de bolsa e aos avaliadores de concurso; ao núcleo de coaching e de terapia comportamental que oferece auxílio gratuito aos pesquisadores das melhores agências de financiamento; aos pesquisadores que, no futuro, serão afiliados ao grupo de pesquisa “patologias psíquicas decorrentes da vida acadêmica brasileira atual” (vulgo, PPDVABA); aos detentores dos documentos e propriedades mencionados nesta carta e de seus direitos de uso (abuso e desprezo) intelectual e monetário; aos colecionadores abrigados no claustro vaginal da pilha de papéis velhos usados como assentos ou ornamentos de parede e aos farejadores de documentos; aos meus superiores hierárquicos, sobretudo àqueles das instituições de ensino e pesquisa às quais eu não pertencço integralmente; aos leões de chácara e à polícia e aos demais envolvidos; às altas esferas governamentais relevantes e a todas as autarquias subordinadas:

Por meio desta gostaria de solicitar autorização para a realização da simples, mas complexa, atividade listada abaixo. Gostaria também que o tempo e o esforço gasto com a organização da atividade sejam financiados, recompensados e avaliados por meio de bolsas, empregos, entradas no Lattes, rabiscos em tabelas de aferição de produção acadêmica e demais “dispositivos” relevantes. A atividade, decididamente imaginativa ou francamente irrealizável, tem conexão com projetos de pesquisa já escritos e aprovados ou com projetos ainda a serem escritos e/ou submetidos à apreciação.

Organização simples (mas complexa) de um concerto

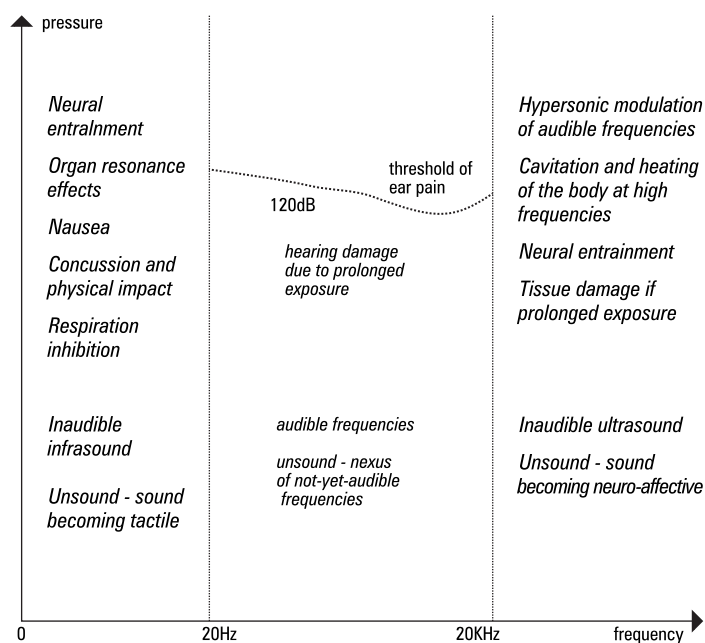
Trata-se do trabalho de final de curso para a disciplina PEC-APMD-XXX (Programa em curso, e ainda provisório mas disponível, XXX) que será realizado por um grupo de alunos interessados sob supervisão do instrutor, eu, somente eu, ninguém mais do que eu. Os alunos envolvidos têm produção performática e/ou musical em curso.

O concerto será idealizado e realizado a partir de 4 eixos conceituais/temáticos/procedurais:

- a) o conjunto heteróclito e dispersivo das reflexões diversas engendradas espontaneamente ao longo das aulas da disciplina mencionada;
- b) a noção de “arte-manifesto” (Puchner);
- c) a noção de “sonic warfare” (Goodman);
- d) diversos manifestos de Tristan Tzara e outras atividades dadaístas dos núcleos de Zurique e Berlim.

A seguinte tabela, retirada de Goodman (*Sonic Warfare: Sound, Affect, and the Ecology of Fear*) também serviria de base para o concerto

P R O S A



A partir desses 4 eixos e da tabela, os alunos idealizarão e executarão um concerto único de 50 minutos, no Centro Cultural Universitário mais próximo da sede de financiamento da atividade, em horário inapropriado e naturalmente inacessível.

Marcelo Moreschi é doutor em literatura luso-brasileira pela Universidade da Califórnia, Santa Barbara. Atualmente, financiado com bolsa de pós-doc da Fapesp, conduz pesquisa na Universidade Estadual de Campinas a respeito dos escritos éditos e inéditos de Flávio de Carvalho.

MARCUS FABIANO GONÇALVES

DRUMMOND, FARMACÊUTICO

na usinagem das anginas, o melhoral:
do neurônio à reles bactéria digestiva
bálsamo para as dores que excruciam

contra as tênia do tédio, o vermífugo
que clareia a fosca alameda dos cinzas
e ladrilha uma vereda com pedrinhas

o velhoônico de combate à anemia:
o ferro do sangue, o mesmo da mina
sabendo a bílis negra da melancolia

e para os achaques de asma ou mialgias
a melhor cânfora que arrepia as plumas
ali onde é mais viva a nossa carne crua.

HOMO FABER HOMO LOQUENS

no manejo livre
da mão sem trilha
a menor mandíbula
que fala ou mastiga

à flor da pele doída
outro dente de leite
rasgando a gengiva

e que fosse prazo
ou siso à sua guisa:
tempo – hemorragia
que é a própria vida

ou mesmo poesia:
a inútil pedra polida
amolando os sentidos
que a fala não afia.

SPAGHETTI WESTERN

por três segundos, naqueles fotogramas da sétima arte, só um coldre sobre o catre. um corte para o vilão (carranca de bebeu vinagre) e dois índios impávidos (mexicanos de forte-apache). na tomada alguns agaves e pelotas de feno pela rua do combate. quatro closes alternados completam a sequência do face a face e o tema do suspense encaminha-se para o ápice. as mãos rápidas e então os saques: cai o mocinho sem acreditar que seu Smith & Wesson engasgue. agora entendes a insistência na imagem? tiraram as balas do revólver do coldre sobre o catre. velhos truques da dramaticidade: bandido bom, melhor se for covarde.

Marcus Fabiano Gonçalves (1973) é gaúcho e mora no Rio de Janeiro, onde é professor da Universidade Federal Fluminense. Os poemas desta seleção pertencem ao seu segundo livro de poesias, Arame Falado (7Letras). O autor também publica ensaios e inéditos no blog Arame Falado, no endereço: marcusfabiano.wordpress.com

Artigos Ensaios

<http://cienciaecultura.bvs.br>

cienciaecultura@sbpcnet.org.br

A seção **Artigos & Ensaios** da revista *Ciência e Cultura* possui quatro páginas destinadas a atender demandas espontâneas da comunidade científica que não se encaixem dentro do Núcleo Temático de cada número. A seção abriga textos com uma reflexão sobre temas da atualidade científica e de interesse da sociedade como um todo, nas grandes áreas do conhecimento.

A formatação dos artigos deverá seguir as **normas** publicadas abaixo. Os textos serão avaliados e sua publicação seguirá agenda de interesse editorial da revista. Não é recomendada a submissão de artigos e ensaios de interesse exclusivo de grupos de especialistas ou que tenham sido anteriormente publicados, em veículos da comunidade científica ou mídia em geral.

NORMAS

SEÇÃO ARTIGOS & ENSAIOS Possui 4 páginas, destinadas a um texto de 17,5 mil caracteres com espaçamento (sem imagens) ou 16 mil (com até 3 imagens).

FORMATO Cada artigo terá o máximo de 3 gráficos, tabelas ou imagens, considerados fundamentais para a ilustração e melhor entendimento do texto. Esse material deve ser enviado em arquivo separado e com antecedência, para sua confecção e checagem junto ao articulista. O envio de número superior a esse deverá oferecer a opção de escolha para a edição, se houver necessidade de corte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS As citações e referências serão indexadas numericamente no texto, em ordem crescente, e aparecerão no final do artigo, sob o título **Notas e Referências**, se ambas ocorrerem; ou **Notas, ou Referências**, se apenas uma das duas ocorrer. Existe, ainda, a opção **Bibliografia consultada**, sem citações referenciadas e numeradas ao longo do texto.

RODAPÉ Notas de rodapé não são utilizadas.

CRÉDITO A assinatura do articulista virá logo abaixo do título e suas qualificações – que devem ser encaminhadas **sempre** no corpo do texto e não exceder cinco linhas – serão editadas ao final. Modelo: *José da Silva é biólogo, professor titular do Instituto de Bioquímica da Universidade de São Paulo (USP) e presidente do Centro de Pesquisa em Biologia Molecular do Instituto XYZ.*

PRAZOS Os textos serão avaliados por membros do conselho editorial da revista. A qualidade de texto, informação e pertinência dos artigos e ensaios são essenciais para a sua aprovação. Uma vez aprovados, os textos serão publicados de acordo com a relevância e urgência dos temas

abordados. Depois de aprovados, os textos passarão por um processo de revisão editorial e reenviados para checagem dos autores, que deverão devolvê-los, com devidos ajustes e/ou aprovação em, no máximo, 48 horas.

DESTAQUES Os destaques dentro do texto – como palavras ou expressões que se queira salientar, devem vir em **negrito** – citações de frases e capítulos deverão receber aspas; palavras estrangeiras e títulos de obras aparecerão em **italico**. Deve-se evitar o excesso de destaques por página.

REFERÊNCIAS O padrão de referências adotado segue exemplificado abaixo:

1. Berriman, M.; Haas, B.J.; LoVerde, P.T.; *et al.* "The genome of the blood fluke *Schistosoma mansoni*". *Nature*, Vol.460, no.7253, p.352-258. 2009.
2. Elias, N. *O processo civilizador- uma história de costumes*. Vol.I Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 1990.
3. Tavares, J.V. "A violência como dispositivo de excesso de poder. In: *Revista Crítica de Ciências Sociais*. Vol.37, p.132. Junho de 1993.
4. Diaz, M., *op cit.* p.345-347. 1987.

ENVIO DE MATERIAL Os textos devem ser produzidos em arquivo Word. Ilustrações e gráficos devem ser enviados em arquivo separado, com os detalhes necessários para sua identificação, como: crédito, legenda, fonte etc.

SIGLAS As siglas constantes no texto devem **sempre** aparecer por extenso na primeira vez em que forem utilizadas.

CONTATO É necessário que cada articulista coloque seus dados para eventual contato (e-mail ou tel) quando alguma dúvida surgir no processo de edição.

Realização



Sociedade Brasileira para o
Progresso da Ciência

Produção Editorial



Apoio

