

CONTRIBUIÇÕES DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA AO PENSAMENTO HUMANO

César Jaeger Drehmer
José Eduardo Figueiredo Dornelles
Tony Leandro Rezende da Silveira

CONTRIBUIÇÕES DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA AO PENSAMENTO HUMANO

CONTRIBUIÇÕES DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA AO PENSAMENTO HUMANO

César Jaeger Drehmer

José Eduardo Figueiredo Dornelles

Tony Leandro Rezende da Silveira



Reitoria

Reitor: *Pedro Rodrigues Curi Hallal*

Vice-Reitor: *Luis Isaías Centeno do Amaral*

Chefe de Gabinete: *Taís Ullrich Fonseca*

Pró-Reitor de Graduação: *Maria de Fátima Cossio*

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: *Flávio Fernando Demarco*

Pró-Reitor de Extensão e Cultura: *Francisca Ferreira Michelin*

Pró-Reitor de Planejamento e Desenvolvimento: *Otávio Martins Peres*

Pró-Reitor Administrativo: *Ricardo Hartlebem Peter*

Pró-Reitor de Infra-estrutura: *Julio Carlos Balzano de Mattos*

Pró-Reitor de Assuntos Estudantis: *Mário Renato de Azevedo Jr.*

Pró-Reitor de Gestão Pessoas: *Sérgio Batista Christino*

Conselho Editorial

Presidente do Conselho Editorial: *Ana da Rosa Bandeira*

Representantes das Ciências Agrárias: *Guilherme Albuquerque de Oliveira Cavalcanti (TITULAR), Cesar Valmor Rombaldi e Fabrício de Vargas Arigony Braga*

Representantes da Área das Ciências Exatas e da Terra: *Adelir José Strieder (TITULAR), Juliana Pertille da Silva e Daniela Buske*

Representantes da Área das Ciências Biológicas: *Marla Piumbini Rocha (TITULAR), Rosangela Ferreira Rodrigues e Raquel Ludke*

Representantes da Área das Engenharias e Computação: *Darci Alberto Gatto (TITULAR) e Rafael Beltrame*

Representantes da Área das Ciências da Saúde: *Claiton Leoneti Lencina (TITULAR) e Giovanni Felipe Ernst Frizzo*

Representantes da Área das Ciências Sociais Aplicadas: *Célia Helena Castro Gonsales (TITULAR) e Sylvio Arnaldo Dick Jantzen*

Representante da Área das Ciências Humanas: *Charles Pereira Pennaforte (TITULAR), Edgar Gandra e Guilherme Camargo Massau*

Representantes da Área das Linguagens e Artes: *Josias Pereira da Silva (TITULAR) e Maristani Polidori Zamperetti*



Filiada à A.B.E.U.

Rua Benjamin Constant, 1071 - Porto
Pelotas, RS - Brasil
Fone +55 (53)3227 8411
editora.ufpel@gmail.com

Direção

Ana da Rosa Bandeira
Editora-Chefe

Seção de Pré-Produção

Isabel Cochrane
Administrativo

Seção de Produção

Gustavo Andrade
Administrativo
Anelise Heidrich
Revisão
Ingrid Fabiola Gonçalves (Bolsista/Estagiário)
Design Editorial

Seção de Pós-Produção

Morgana Riva
Assessoria
Madelon Schimmelpfennig Lopes
Administrativo

Revisão Técnica

Ana da Rosa Bandeira

Revisão Ortográfica

Suelen Aires Böttge

Capa

Ingrid Fabiola Gonçalves

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Marques

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Gabriela Machado Lopes – CRB-10/1842

D771c Drehmer, César Jaeger

Contribuições da evolução biológica ao pensamento humano
[recurso eletrônico] / César Jaeger Drehmer, José Eduardo Figuei-
redo Dornelles, Tony Leandro Rezende da Silveira — Pelotas:
Editora UFPel, 2018.

2,83 MB; PDF

ISBN: 978-85-517-0026-6

1. Evolução humana. 2. Antropologia. 3. Biologia – Filosofia.
4. Silveira, Tony Leandro Rezende da 5. Dornelles, José Eduardo
Figueiredo I. Título.

CDD 573.2

APRESENTAÇÃO

O secularismo, em suas raízes, é o princípio que prega a independência do Estado em relação às doutrinas religiosas. Ou seja, o secularismo é historicamente decorrente da lenta e revolucionária reivindicação da jurisdição do Estado sobre os principais aspectos e setores da vida social, até então pertencentes à Igreja. O secularismo ganhou forma e passou a ser praticado abertamente durante o movimento cultural iluminista, no século XVIII, principalmente na França. Os franceses se destacaram durante o iluminismo devido à sua oposição aberta contra a censura e determinismo de Roma. À época a França era oficialmente um Estado teocrático católico, sob autoridade religiosa romana. Durante o século XVIII, a filosofia, as artes e, principalmente, as ciências e o estudo da natureza se distanciaram do misticismo religioso e a razão humana foi exaltada. Porém, o Estado e sua administração propriamente dita só se dissociaram completamente da religião no início do século XX, com o secularismo francês, também chamado laicidade. Nascia o Estado laico.

Atualmente, há uma importante distinção entre laicidade e secularismo, ainda que a laicidade tenha se originado de ideias intrinsecamente secularistas. Hoje, a laicidade é usada para designar a separação Estado-Igreja: a exclusão da religião da esfera pública e a neutralidade do Estado em relação às práticas religiosas. Já o secularismo moderno refere-se ao enfraquecimento e declínio da religião na sociedade atual, em todos os âmbitos, e a substituição do caráter espiritual, mágico e místico, inerentes à religião, pelo racionalismo puro.

A evolução se destaca no cenário secular atual devido ao fato de ser uma área do conhecimento que lança luz sobre a origem e história natural da vida na Terra, o que lhe confere um caráter extremamente filosófico. Os estudos sobre evolução revolucionaram a maneira como o ser humano entende sua própria existência no planeta, assim como toda e qualquer forma de vida, ajudando a retirar dos deuses o papel central de criadores, impulsionadores e coordenadores da história natural do nosso planeta. Por isso, não são raros os casos de estudantes com espírito questionador que iniciam seus estudos em evolução e naturalmente se desvencilham da concepção espiritual e mística do mundo, adquirida e acumulada durante seus primeiros anos de vida. Talvez pelo fato de desmistificar alguns dos principais dogmas religiosos, a evolução é duramente atacada e desacreditada por muitos líderes espirituais ao redor do globo.

Vivemos em um mundo dominado pelo fundamentalismo religioso destrutivo e pela crescente expansão de novas religiões “predadoras” (ou o termo ecológico correto seria “parasitas”?) que exploram a fé coletiva visando o lucro individual. A cada dia borbulham notícias na mídia sobre atentados por motivação religiosa, escândalos fiscais de líderes religiosos, violência sexual no círculo religioso e desaparecimento de jovens que fogem para se unir a grupos fundamentalistas. Por isso, a discussão sobre o entendimento fantasioso do mundo e da sociedade, mesmo que polêmica, se tornou quase obrigatória nos últimos anos.

O entendimento de como surge a vida e as espécies, como elas se modificam com o tempo, e como elas se extinguem é de importância crucial para o estabelecimento de uma concepção secular do mundo. O intuito deste livro é abordar a evolução e os principais acontecimentos evolutivos em vista de apresentar ao público uma visão de mundo livre de mitos e lendas antigas. Além disso, esta publicação convida o leitor a refletir de maneira objetiva sobre a existên-

cia de vida em todas as suas formas, neste ou em qualquer outro planeta e como ela se modifica durante as eras. Por fim, através de uma linguagem acessível ao público o texto aborda questões filosóficas sobre ciência e fé, instigando o leitor à discussão sobre o tema. Para tanto, foram reunidos textos de várias gerações de profissionais da área biológica, tanto de acadêmicos mais experientes quanto de recém-formados, conferindo um caráter atemporal à abordagem do tema.

No século XIX, o próprio Charles Darwin, o principal dos pilares da evolução, talvez evitando a polêmica e a divulgação de sua visão materialista de mundo, protelou em décadas a publicação de sua obra-prima que mudaria o mundo para sempre. Nela, pela primeira vez um autor revela que a evolução ocorre e explicita o mecanismo através do qual ela se desenvolve. Além disso, exclui totalmente a intervenção divina, contrapondo-se à tradicional teologia natural da época, e inclui o ser humano como alvo do processo, coroando-nos como apenas mais uma espécie na natureza sórdida de um mundo sem rédeas. Foi uma ideia revolucionária demais para a sociedade vitoriana aceitar. Foi um verdadeiro choque! No século XXI, essa visão já é bem difundida no meio acadêmico, porém ainda não tão bem interpretada pelo público em geral. Por isso, esperamos através de *“Contribuições da evolução biológica ao pensamento humano”* alcançar tanto acadêmicos quanto leigos com a divulgação e popularização de nossa forma de enxergar o mundo que nos cerca. Como diria Darwin: “Existe grandeza nessa visão da vida...”

SUMÁRIO

PARTE I APRENENDO EVOLUÇÃO

- 9 **CAPÍTULO I** - BIOLOGIA E HUMANISMO SECULAR; OU, SOBRE COMO A FORMAÇÃO ACADÊMICA DE BIÓLOGOS PODE INFLUENCIAR SUAS POSTURAS FILOSÓFICAS, ESPIRITUAIS E SOCIAIS

PARTE II GRANDES ÍCONES ENSINAM EVOLUÇÃO

- 22 **CAPÍTULO II** - UMA VISÃO PARTICULAR SOBRE A VIDA E OBRA DE CHARLES DARWIN
32 **CAPÍTULO III** - ENSINANDO EVOLUÇÃO: A PEDAGOGIA DE STEPHEN JAY GOULD

PARTE III MECANISMOS, FORMA E FUNÇÃO

- 39 **CAPÍTULO IV** - MUTAÇÕES - O ESSENCIAL À EVOLUÇÃO É INVISÍVEL AOS OLHOS
49 **CAPÍTULO V** - MECANISMOS DE CONSTRUÇÃO E EVOLUÇÃO DAS FORMAS ANIMAIS
61 **CAPÍTULO VI** - O DESIGN INTELIGENTE E O ARQUITETO DE OBRAS PRONTAS

PARTE IV EVOLUÇÃO DE PLANTAS E COEVOLUÇÃO

- 76 **CAPÍTULO VII** - UMA BREVE HISTÓRIA SOBRE A EVOLUÇÃO DE PLANTAS
85 **CAPÍTULO VIII** - COEVOLUÇÃO: UMA INTERAÇÃO, LIÇÕES SOBRE A NATUREZA, O TEMPO E O VALOR DA CIÊNCIA

PARTE V AS VIDAS PERDIDAS E AS NUNCA ENCONTRADAS

- 90 **CAPÍTULO IX** - A PALEONTOLOGIA E AS EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO NO TEMPO GEOLÓGICO
96 **CAPÍTULO X** - EXTINGUIR OU NÃO EXTINGUIR: EIS A QUESTÃO
103 **CAPÍTULO XI** - ORIGENS, CONHECIMENTO E ASTROECOLOGIA

PARTE VI SEXO E SEXUALIDADE

- 115 **CAPÍTULO XII** - A SEXUALIDADE DA FÊMEA HUMANA À LUZ DA EVOLUÇÃO
125 **CAPÍTULO XIII** - HOMOSSEXUALIDADE E O PARADOXO DARWINIANO

PARTE VII SOMOS ESPECIAIS, AFINAL?

- 136 **CAPÍTULO XIV** - DESDE O FAROL DE ALEXANDRIA
149 **CAPÍTULO XV** - EVOLUÇÃO HUMANA: DO JARDIM MIOCÊNICO À SELVA DE PEDRA

CAPÍTULO I - BIOLOGIA E HUMANISMO SECULAR; OU, SOBRE COMO A FORMAÇÃO ACADÊMICA DE BIÓLOGOS PODE INFLUENCIAR SUAS POSTURAS FILOSÓFICAS, ESPIRITUAIS E SOCIAIS

Thomáz Klug Brum¹

Minha prática como cientista é ateia. Isso quer dizer, quando realizo um experimento eu presumo que nenhum deus, anjo ou demônio irá interferir em seu curso... Eu seria intelectualmente desonesto se eu não fosse ateísta com os assuntos do mundo (HALDANE, J. B. S.).

O Biólogo, profissional formado nos cursos superiores de Biologia, Ciências Biológicas, História Natural e Ciências Naturais, é largamente conhecido por suas atribuições na sociedade, tanto atualmente, quanto no passado recente. Dificilmente alguém desconheça a profissão se questionado hoje, entretanto esta ainda possui pouco prestígio, ainda sendo comum toparmos com opiniões do tipo “pra que serve um biólogo?”. Para os biólogos, talvez mais do que para a maioria das profissões, a formação é de suma importância no desenvolvimento de sua carreira, prática e ética profissional. Basicamente, o Biólogo é a soma das disciplinas que cursou, das palestras às quais assistiu, das pesquisas que colaborou, dos livros e artigos que leu, dos ambientes que explorou. Tudo isto influencia definitivamente na forja de um biólogo.

Contudo, quais as características gerais que um biólogo necessita para ser um bom profissional? Bem, de acordo com os Projetos Pedagógicos (PP) dos principais cursos de Ciências Biológicas do país, devemos ser: generalistas, críticos, éticos e cidadãos com espírito de solidariedade; pautarmos nossa conduta profissional em critérios humanísticos e no rigor científico; agentes transformadores da realidade presente, na busca de melhoria da qualidade de vida; dentre outros pontos citados. Estas características são baseadas quase que unanimemente no Parecer CNE/CES 1.301/2001, que estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Ciências Biológicas, um documento que serviu de base para a formação dos PPs atuais dos cursos de Biologia da maioria das universidades, até mesmo os mais conceituados do país. Dentre eles podemos citar os cursos das universidades federais de Minas Gerais, Paraná, Pelotas, Pernambuco, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Rondônia e Santa Catarina, além da Universidade de São Paulo, Universidade do Estado de São Paulo, Universidade Metodista de São Paulo, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, dentre outros.

O Biólogo tem atribuições em diversas áreas de atuação e inúmeras atividades passíveis de serem desempenhadas. Entre elas podemos destacar as três grandes áreas profissionais, que são: Meio Ambiente e Biodiversidade; Saúde; Biotecnologia e Produção. Entre estas três áreas, dividem-se atualmente as mais de oitenta funções que podem ser exercidas pelos Biólogos no Brasil. Um profissional conhecido por sua versatilidade, referenciada, na maioria das vezes, a uma formação acadêmica dinâmica e abrangente que ocorre nas universidades brasileiras. Além disso, é comumente associado a posturas filosófico-espirituais seculares, associação essa comprovada em um estudo em 13 países, abrangendo 30 nações, com diferentes culturas, religiões e indicadores sociais e educacionais (CLÉMENT, 2015). Mas

¹Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Pelotas

afinal, que tipo de formação é essa? O que faz um biólogo tornar-se um ser crítico e questionador do *status quo*² social? O que faz um biólogo ir contra as correntes religiosas e se tornar um secularista? O que faz um biólogo sair da zona de conforto mental que as religiões historicamente proporcionaram e ainda proporcionam? Quais ideias são capazes de forjar posturas de Humanismo Secular tão frequentes nos profissionais da Biologia? É sobre isso que iremos tratar nos próximos parágrafos.

CIÊNCIA E FÉ

Não é de hoje que as ciências fisicalistas/naturais e as crenças filosófico-espirituais trilham caminhos separados. Esse processo iniciou basicamente com o surgimento da Filosofia e do ato de questionar o mundo que cercava os humanos da Grécia antiga. Aceitar os mitos da tradição oral grega não era mais uma opção para aquelas pessoas da elite intelectual grega, que estavam ávidas por fazer questionamentos e buscar respostas. Avançando um pouco na história da civilização moderna, já durante a Idade Média, a Ciência propriamente dita dava seus primeiros passos e já era empregada pelos famigerados alquimistas, que despendiam boa parte de seu tempo nos porões de suas casas e nos laboratórios bem escondidos dos olhos do Clero Católico, em uma busca interminável pelo “Elixir da Vida Eterna” e, nesse ínterim, ainda acabavam fazendo algumas descobertas e constatações realmente importantes para o entendimento da natureza (tragicamente, como se sabe, todos eles “deram com os burros n’água” na questão do elixir). Já no Século XVII, a filosofia ganhou outra aliada nessa cruzada contra o obscurantismo: a Ciência Moderna.

Baseada no pensamento do filósofo, físico e matemático francês René Descartes (1596–1650), a Ciência tal qual conhecemos hoje, seguia as premissas de que o desenvolvimento de qualquer conhecimento sobre o mundo natural deveria passar por quatro etapas básicas de elaboração: verificar, analisar, sintetizar e enumerar as conclusões e princípios utilizados para checar o fenômeno. Com isso, a Ciência tornou-se a principal ferramenta para o desvelamento do mundo e do universo que nos rodeava, uma quebra de paradigmas sem precedentes na história da civilização ocidental. Ao longo dos próximos séculos, entretanto, o conhecimento teve que ser desenvolvido ainda sobre forte influência e pressão dos dogmas religiosos vigentes em cada época e região, em especial, da Igreja Católica, dominante no continente europeu. As ideias e descobertas, embora completamente desconexas com as Escrituras Sagradas dos cristãos, precisavam esgueirar-se entre as lacunas do Velho e do Novo Testamento, buscando o aval do Criador nas escrituras sagradas para serem consideradas factíveis e tidas como fidedignas à realidade. O fato, na verdade, era que o pensamento cristão permeava todas as parcelas da sociedade e que a esmagadora maioria dos cientistas era composta de membros filiados à própria Igreja. As investigações, portanto, eram desenvolvidas muitas vezes no sentido de corroborar, pura e simplesmente, a filosofia clerical ou fábulas bíblicas, tal e qual eram contadas nos evangelhos, ou seja, seguiam o caminho contrário da ciência, que estuda um fenômeno e depois tira uma conclusão baseada nas evidências encontradas, já os intelectuais do Clero escolhiam uma conclusão do livro sagrado e procuravam evidências que pudessem corroborar essa ideia pronta. Basicamente uma “ciência às avessas”.

Questionar a autenticidade das afirmações da Bíblia Sagrada podia até ser feito naquela época, sair impune quanto a isso é o que não era muito comum de acontecer. Giordano Bruno (1548-1600) que o diga! O filósofo, teólogo e

²Expressão latina utilizada para designar o “estado atual” de determinada situação (MICHAELIS, 2009).

frade italiano foi denunciado, preso, julgado, condenado à morte e queimado-vivo pelo Tribunal da Inquisição do Santo Ofício de Roma, por heresia, tendo ele apontado contradições bíblicas e defendido que a Terra girava em torno do sol como versava a Teoria Heliocêntrica de Galileu (e não o contrário, como afirmavam os membros do Clero, agarrados aos Escritos Sagrados que apontava o Geocentrismo como a melhor explicação da realidade espacial do nosso planeta). Alguns historiadores chegam a relacionar diretamente às perseguições impostas pela Inquisição contra os pensadores europeus com o fato de os países da região do Mar Mediterrâneo terem “perdido o bonde” da Revolução Científica dos séculos XVII e XVIII. Principalmente os países da Península Ibérica, onde ficaram famosos os Tribunais do Santo Ofício mais temidos da história. Nossos colonizadores portugueses, por exemplo, bem como os espanhóis, esforçaram-se ao máximo em barrar as influências estrangeiras e heréticas durante o período de vigência dos Tribunais. A educação formal era controlada pela Igreja, que mantinha um currículo medieval centrado na gramática, retórica e argumentação escolástica. A única ciência de nível superior seria encontrada na faculdade de medicina de Coimbra. Mesmo aí, poucos professores estavam dispostos a trocar Galeno por Harvey, ou a ensinar as ideias ainda mais perigosas de Copérnico, Galileu e Newton, todos banidos pelos Jesuítas ainda em 1746. Portugal e Espanha passaram de pioneiros da tecnologia, como a das grandes navegações, que lançou os países ao mar no século XV, para uma sumidade em ciência e tecnologia, fato que durou até meados do século XX.

Em meio a isso, no século XVIII, o movimento conhecido por Iluminismo começava a tomar conta das cabeças europeias, pregando o uso da razão acima de qualquer outra ideia. Esse movimento culminou com outra quebra de paradigmas gigantesca na história ocidental, impulsionando o desenvolvimento científico, filosófico e tecnológico de todo o continente europeu e também do Novo Mundo. A partir desse ponto, as nações começaram, de forma gradual e independente, os movimentos de Secularização, ou seja, separação entre Estado e Igreja, impossibilitando, ao menos de forma oficial, as perseguições aos intelectuais e cientistas.

Contudo, com o pensamento religioso ainda muito em voga na sociedade da época, os cientistas, e entre eles os naturalistas, também sofreram com a perseguição do fundamentalismo religioso. O próprio Charles Darwin (1809-1882), por exemplo, manteve sua *magnus opus* (ver capítulo II) de forma secreta ao longo de vários anos por medo da reação dos membros da Igreja Anglicana da Inglaterra, só publicando-a finalmente no ano de 1859 em virtude de outro temor: o de perder o ineditismo de suas ideias, visto que outro naturalista, Alfred Russel Wallace (1823-1913), dava indícios através de seus trabalhos científicos e correspondências de que chegara as mesmas conclusões que Darwin, de forma independente.

Em contrapartida, a relação entre as ciências naturais e posturas seculares já é um casamento bem antigo também. Basta olharmos para trás na história e analisarmos as posturas de alguns dos principais expoentes desse campo do saber: Alfred Kinsey (1894–1956), Aleksandr Oparin (1894–1980), Charles Darwin (1809–1882), Ernst Mayr (1904–2005), Erwin Schrödinger (1887-1961), Fritz Müller (1822–1897), J. B. S. Haldane (1892–1964), John Maynard Smith (1920–2004), Julian Huxley (1887–1975), Peter Brian Medawar (1915–1987), Thomas Hunt Morgan (1866 – 1945), W. D. Hamilton (1936 – 2000), entre outros que nunca declararam abertamente suas posições filosófico-espirituais, e sem mencionar os cientistas menos conhecidos. Muitos preferiram o silêncio em relação a esse tema por conta do medo do impacto que isso causaria em suas relações pessoais e profissionais. Se declarar abertamente um não teísta, ainda hoje, é praticamente um suicídio social na maioria dos países, inclusive sendo considerado crime penalizado com morte, principalmente em países islâmicos (e.g., Arábia Saudita, Qatar, Emirados Árabes Unidos).

RECEITA PRA SE FAZER UM BIÓLOGO HUMANISTA SECULAR

Antes de iniciarmos propriamente esta seção, precisamos pontuar alguns conceitos que norteiam a redação deste ensaio, como, por exemplo, a diferença entre teístas e não teístas. Teístas são pessoas que possuem e professam a fé em uma deidade (monoteístas) ou mais (politeístas), sejam estas quaisquer deidades das inúmeras religiões e posturas filosófico-espirituais que existem e existiram nas diferentes sociedades ao redor do globo. Como exemplo, podemos citar os monoteístas que creem em Jeová (e.g. Cristãos, Judeus, Evangélicos), os que creem em Alá (e.g. Islâmicos), os politeístas que creem em Brama, Shiva e Vixnu (e.g. Hindus), os que creem em Lúcifer (e.g. Satanistas) e segue-se uma lista interminável de outras igrejas, religiões, seitas, etc. Já os não teístas, são considerados os que não creem em deidade alguma, entretanto até podem professar algum tipo de fé ou espiritualidade e até praticar alguma religião, desde que esta não inclua a ideia de uma deidade. Exemplos disso são os Budistas, Confucionistas e Tauistas, que são religiões orientais não teístas. Dentro dos não teístas, temos ainda a postura filosófica agnóstica (i.e., de que não existem bases racionais para se comprovar ou rechaçar a ideia de uma deidade), a ateísta (i.e., de que não existe nenhuma possibilidade de haver deidades) e a do Humanismo Secular (i.e., que rejeita dogmas religiosos, o sobrenatural, a pseudociência e outras coisas atreladas ao mundo metafísico e põem a razão humana, a ética e o naturalismo filosófico em primeiro plano). Portanto, quando a palavra “religião” e suas derivadas forem usadas, entende-se por posturas filosófico-espirituais que possuem estrutura de dogmas, cultos, veneração de deidades e crença no sobrenatural, dentre outras crenças em forças metafísicas em geral (e.g., Cristianismo, Budismo, Islamismo, Hinduísmo).

Dito isso, passamos a falar agora sobre bases de estudos, trabalhos, disciplinas, pesquisas, conhecimentos pré-adquiridos, indicações de leituras e de vivências acadêmicas, que de uma forma geral influenciam as posturas filosóficas, espirituais e/ou sociais dos Biólogos.

1. O Criacionismo. Logicamente, o ponto de partida dessa caminhada teria de ser esse, que é uma das explicações mais antigas para a pergunta “De onde surgiu o universo, a Terra, os seres vivos e os humanos?”, e ainda hoje, um dos conceitos mais prestigiados pela população em geral, em especial pelos não iniciados nas ciências. Praticamente todas as religiões possuem algum tipo de mitologia ou fábula que pondera sobre a criação dos humanos, dos outros seres, da Terra e de todo o resto do universo que nos cerca. Também em praticamente todas, isso se dá de forma arbitrária, abrupta e ordeira, através da figura de um “ser supremo” dotado de inteligência e consciência, d’O Criador, como normalmente o chamam em suas escrituras sagradas. Para os cristãos mais ortodoxos, por exemplo, a Terra possui cerca de 6 mil anos de idade, segundo alguns cálculos do Bispo James Ussher (1581-1656), com base em eventos bíblicos.

A “Criação” é uma premissa básica em praticamente todas as religiões que já existiram. Os humanos, desta forma, sempre devem graças e louvores a quem os criou. Dentro de um curso de Biologia, os estudantes acabam se deparando com fatos que tornam toda essa ideia de criação difícil de ser aceita e compreendida, principalmente após cursar disciplinas como Geologia, Paleontologia e Evolução. Como conciliar esse pensamento com todos os conhecimentos já publicados sobre Tempo Geológico da Terra? Já se sabe que a formação do universo possivelmente tenha ocorrido no evento chamado Big Bang, há 14 bilhões de anos. Que o planeta existe há no mínimo 4,5 bilhões de anos! Que durante boa parte desse tempo não existiu vida alguma e após o surgimento da vida, por volta dos 3,5 bilhões de anos atrás, formas unicelulares e diminutas dominaram o planeta durante quase 2 bilhões de anos e que as formas mais complexas somente surgiram há cerca de 600 milhões de anos. Já se sabe que as espécies não são seres imutáveis, não possuem propósitos teleológicos (ver item 2 desta seção) de existência e estão em constante transformação através dos

mecanismos evolutivos. O código genético de todos os organismos que hoje vivem na Terra, até da mais simples das bactérias, é composto de moléculas idênticas quimicamente, diferindo apenas nos infinitos arranjos de combinações dessas bases moleculares, e isso – dada a natureza arbitrária do código – é evidência convincente de que toda vida que hoje existe na Terra tem uma origem única e que posteriormente esta evoluiu nas mais diversas formas de vida que hoje encontramos. Do mosquito ao cogumelo, da samambaia ao ser humano, todos possuem ancestralidade em comum, uns são mais próximos, outros mais distantes: mas todos estão relacionados. Quer coisa mais desconexa com a realidade do que a ideia de que um ser supremo pensou, projetou, criou e estabeleceu o universo, o sistema solar, a Terra e as espécies que hoje habitam nosso planeta? Assim como as que já feneceram e hoje se encontram no registro fóssil apenas.

Falando em extinções (ver capítulo X), uma das principais contestações dos opositores da Teoria da Evolução versa sobre as lacunas no registro fóssil. Eles contestam onde estariam estes “elos perdidos” entre algumas linhagens de espécies. Richard Dawkins em seu livro “A Grande História da Evolução”, logo de cara no Prólogo Geral da obra rechaça essa ideia com um único e poderoso parágrafo explicando que:

Mesmo que alguém fizesse desaparecer todos os fósseis, o estudo comparativo dos organismos modernos, de como se distribuem entre as espécies seus padrões de semelhanças, especialmente de suas sequências genéticas, e de como as espécies se distribuem entre os continentes e ilhas, demonstraria, sem nenhuma sombra de dúvida sensata, que a nossa história é evolutiva e que todos os seres vivos são primos. Os fósseis são um bônus. Um bônus muito bem-vindo, sem dúvida, mas não essencial. Vale a pena lembrarmos disso quando os criacionistas bradam (como costumam tediosamente fazer) contra as “lacunas” no registro fóssil. Esse registro poderia ser uma colossal lacuna, e mesmo assim as evidências da evolução continuariam esmagadoras. Ao mesmo tempo, se possuíssemos apenas os fósseis e nenhuma outra prova, o fato da evolução também seria inquestionavelmente corroborado. Acontece que somos abençoados com as duas coisas (DAWKINS, 2009, p. 31).

Imaginem agora você como ficou a cabeça deste jovem estudante de Biologia (Eu!) - Católico de batismo, comunhão, com participação em movimentos de evangelização e outras ações relacionadas à religião – ao defrontar-se com tamanha diferença de “realidades”! O choque foi enorme, como de fato era pra ser. A academia é também lugar propício para tomarmos algumas rasteiras e cairmos de cima de nossas certezas. Entrei Criacionista na Universidade, mas essa ideia não durou nem até o final do primeiro ano de curso, ao cursar a disciplina de Zoologia. Não tinha mais espaço para pensar num Universo surgindo em um passe de mágica, pela vontade de um projetista onipotente, onisciente e onipresente. O criacionismo estava fora de cogitação na minha forma de interpretar o planeta e os seres que habitam nele. Entretanto, outra ideia podia confundir a cabeça das pessoas que ainda não tinham se convencido dessa coisa toda de Charles Darwin ter “matado Deus”: a Teleologia.

2. A Teleologia. Essa ideia de um *télos* (i.e., objetivo, finalidade) tomava conta da cabeça dos naturalistas do século XIX e XX. Ela basicamente lida com a explicação de processos naturais que parecem conduzir automática e independentemente a um fim definido ou a uma meta. Esta é invocada desde os tempos de Aristóteles, que na época era referida como a *causa finalis*. Muitos cientistas até metade do século XX ainda acreditavam que a natureza possuía uma “essência”, um “anseio intrínseco” no sentido da perfeição e do progresso. As religiões, em geral, e inclusive algumas visões filosófico-espirituais não teístas, tendem a atribuir essa perfeição ao observar a natureza e suas nuances. Cresci ouvindo do meu querido avô Leopoldo: “Tu vê como Deus fez a natureza perfeita, não é mesmo?”. Garanto que você, caro leitor, já ouviu ou leu algo parecido por aí, é a filosofia popular que todos nós acabamos tendo acesso quotidianamente. A questão é que, infelizmente, ela não é perfeita. Não é mesmo. Dentro de um curso de Biologia nos deparamos com porções de exemplos que evidenciam o quanto ela é imperfeita, randômica, casual e cruel na maioria das vezes. Esta úl-

tima característica deve ser vista num sentido humanista de enxergar o mundo, visto que, por exemplo, para uma fêmea de louva-deus, o canibalismo sexual (i.e. decapitar, ou comer inteiro, o parceiro após ou durante a cópula) é uma questão de fertilidade e não de crueldade. Esse instinto, preservado na maioria das espécies dos insetos da ordem Mantodea, tem grande valor na probabilidade de a fêmea sobreviver e gerar mais descendentes saudáveis. Não sei para você, caro leitor, mas em um mundo em que eu tivesse projetado os organismos da forma mais perfeita e eficiente possível, com certeza esse mecanismo não faria parte dos meus escopos. A não ser que eu fosse um excêntrico engenheiro, tais mecanismos só poderiam ser forjados por uma força não pensada, randômica, imperfeita e inconsciente: a seleção natural.

A natureza é um verdadeiro caos! A começar pela nossa principal teoria, a evolução, que postula o acaso das mutações dos genes como a ferramenta central de produção das variações genéticas dentro das populações. Pensemos então em outro exemplo para demonstrar como é um grande problema acharmos que os organismos são perfeitos: as chamadas estruturas vestigiais (i.e., estruturas que perderam sua função, tornando-se inúteis; ou que não exercem mais suas funções originais, exercendo assim uma função secundária) que encontramos em incontáveis espécies (e.g., asas em galinhas, olhos em cobras-cegas, dente-do-siso em humanos). Afinal, qual seria a finalidade de projetar e produzir determinado órgão com tamanha complexidade de estrutura, como por exemplo, um olho, para um organismo de hábito fossorial, que vive em ambientes completamente sem luz, como no caso das Cecílias e Cobras-cegas (*Gymnophiona* sp.)? Para você, um projeto desses parece perfeito?

Ernst Mayr, o “Darwin do Século XX”, deu possivelmente o golpe de misericórdia que faltava para pensamento teleológico beijar de vez a Iona. Ele escreveu boa parte de sua obra literária oferecendo explicações para levar ao esgotamento esse tema, que ainda era muito prestigiado por inúmeros cientistas durante o século passado. O autor, ao falar sobre a teleologia cósmica (i.e., as mudanças no mundo se desviam a uma força interior ou uma tendência para o progresso e perfeição), pondera que:

Descritivamente, não há dúvida sobre o que aconteceu ao longo das diversas etapas que vão das mais primitivas bactérias aos seres humanos. Ainda é controverso se há justificativa para se referir a isso como progresso. Uma coisa está clara, porém: a seleção natural oferece uma explicação satisfatória para o curso da evolução orgânica e torna desnecessário invocar forças teleológicas sobrenaturais (MAYR, 2005, p. 79).

Quando se fala em organismos possuírem um *télos*, uma “meta” ou “termo final” para suas existências, esse tipo de conceito, frequentemente associado a filosofias religiosas, esbarra também em outra incongruência se parar para analisar: as extinções. Disciplinas como História Natural, Paleontologia, Geologia, Zoologia, Botânica, Sistemática e Filogenia, nos relatam que diversas linhagens tiveram seus cursos de existência interrompidos abruptamente por diversas causas (e.g., catástrofes climáticas, predação excessiva, epidemias de doenças, mudanças geográficas), tendo ainda ocorrido eventos em que diversos grupos foram extintos ao mesmo tempo, as chamadas “extinções em massa”, como a que ocorreu com os simpáticos Dinossauros, que feneceram durante a Grande Extinção do Cretáceo (ver capítulo X). Paremos para analisar como conceitos teleológicos não fazem sentido nenhum quando pensamos nas inúmeras espécies que já foram extintas. Como dizer que determinada espécie, perfeita em seu projeto e concepção, pode vir a ser extinta do planeta? Qual a *causa finalis* de espécies como estas, que simplesmente deixaram de existir de uma hora para outra, pelas mais diversas causas possíveis? Sabe-se que os dinossauros reinaram sobre a Terra por mais de 100 milhões de anos e simplesmente sumiram da superfície e foram reaparecer só no “Livro das Rochas”, isto é, no registro fóssil. Somente à luz da evolução, da geologia e da paleontologia, podemos compreender o porquê de terem deixado de

existir, de terem “saído da vida para entrarem na história”, no livro das rochas. Extinções só fazem sentido em um mundo inconcluso, randômico, dinâmico e não projetado.

Essa tendência de nós humanos acharmos determinado organismo, paisagem ou outro sistema qualquer, perfeito, encontra explicação no nosso cérebro. Os humanos foram selecionados naturalmente para destacar padrões de semelhança e organização em nossas análises *a priori*, assim como a memorizar padrões positivos com maior ênfase do que os negativos. Explico: por exemplo, quantas pessoas você conhece que acreditam em superstições, como, por exemplo, o tarô? Garanto que algumas. Agora pergunto: quantas dessas pessoas analisam friamente todas as “previsões” recebidas, anotam no papel e depois comparam pra saber se as previsões estavam em maior parte certas ou erradas? Nenhuma, assim espero pelo menos. Então o seguinte ocorre: essas pessoas procuram os serviços místicos e recebem, por exemplo, dez previsões. Depois seguem suas vidas normalmente e quando se defrontam com uma única das previsões recebidas como certas, reforçam mentalmente a ideia de que o cartomante, de fato, sabe prever o futuro. Agora, com relação às outras nove previsões erradas, a pessoa nunca mais se lembrará, caso estas não ocorram. Essa falsa impressão é natural e tem relação com o funcionamento do nosso cérebro na interpretação e memorização de padrões, por isso a grande maioria das pessoas ao redor do mundo tende a acreditar em determinados fatos que não possuem qualquer evidência, ou sequer são plausíveis.

Assim sendo, quando analisamos com calma e à luz de metodologias científicas, conseguimos enxergar que na realidade a perfeição não é o comum da natureza, embora pareça ser. Determinados organismos e relações específicas parecem realmente obras de uma mente criativa impecável, projetados realmente para desempenhar determinada função, mas a ciência sabe que não é bem assim. Por mais que, por exemplo, os olhos humanos pareçam perfeitamente desenvolvidos para analisar visualmente o ambiente que nos cerca, estamos sujeitos, a ilusões ópticas que nos impedem de interpretar com precisão determinada parcela de uma paisagem. A explicação para isso é simples e, claro, feita também à luz da evolução: os olhos se desenvolveram primeiramente em animais aquáticos, sendo projetados perfeitamente para a análise visual no meio aquoso. Quando os animais começaram a migração para o meio terrestre, os olhos tiveram de se adaptar a visualizar um ambiente atmosférico completamente diferente. Seria de se esperar então que as linhagens comesçassem um novo “projeto” de visão especial para a atmosfera terrestre, mas não é assim que a natureza funciona, pois a seleção natural somente é capaz de agir nas matrizes biológicas existentes e não começar um projeto do zero, como um projetista onipotente teria capacidade de fazer. E é por isso que nossa visão ainda *prega algumas peças na gente*.

Com isso, vimos também a teleologia ser desbancada das ideias da cabeça daquele estudante mencionado anteriormente, o sobrenatural perdia mais um ponto. Pouco espaço tinha sobrado para ideias não advindas de uma boa análise de dados e observações científicas rigorosas. Dentro de um curso de Ciências Biológicas ainda nos deparamos com outras ideias bem heréticas que aos poucos vão minando os pensamentos religiosos e supersticiosos de seus alunos. Como, por exemplo, as advindas do próximo item.

3. Os Colegas. Para começarmos, aqui também é preciso pontuar que a palavra “colegas”, nesse caso, se refere aos colegas de área, ou seja, todos que possuem relações com estudos do campo da Biologia, sejam eles colegas de curso ou grandes autores reconhecidos internacionalmente. De Richard Dawkins ao orientador do laboratório da faculdade, de Stephen Jay Gould ao meu colega de disciplina, praticamente todos acabam nos influenciando e auxiliando nessa caminhada rumo ao humanismo secular. Dentro de um curso de Ciências Biológicas, assim como nos outros cursos, existe

um “consciente coletivo” em relação às posturas que a profissão costuma exigir ou então que os cursos costumam gerar em seus egressos. Economistas, por exemplo, costumam ser em geral de orientação política à direita. Cientistas Sociais, já se observa o contrário, pois costumam ser de esquerda. No caso de nós, biólogos, é comum o pensamento não teísta prevalecer nos egressos dos cursos e nos estudantes também isso vai sendo observado. Além dos exemplos citados nos itens 1 e 2, das inúmeras disciplinas que vão forjando essa ideia nos estudantes, ainda é comum nos depararmos com autores e ideias bem pouco ortodoxas com relação à deidades.

Autores famosos no campo das ciências biológicas costumam deixar bem claro suas posições filosófico-espirituais em seus textos, artigos, ensaios, entrevistas e livros. Poucos, dos grandes autores que são divulgadores em ciências biológicas, colocam deidades como uma ideia plausível. A maioria é composta de não teístas em geral, sejam eles ateus, agnósticos, ou simplesmente céticos não teístas. Vamos falar um pouco sobre eles então, para vermos os tipos de pensamentos aos quais os futuros Biólogos se expõem ao longo do curso, através de dicas de leitura e da análise das bibliografias das disciplinas.

a) Charles Darwin (ver capítulo II). É lógico começarmos pelo maior, mais prestigiado e importante naturalista de todos os tempos. Darwin, educado em família cristã, como todos os seus contemporâneos, aos poucos foi perdendo sua fé, fato relatado com preocupação por sua esposa, Emma Darwin, em seus diários e correspondências. Paul Johnson escreveu, em seu livro “Darwin: retrato de um gênio” que: “Darwin estava preocupado com as realidades físicas da vida na Terra e tentava entender seus mistérios. Seu temperamento não estava inclinado a provar as possibilidades de vida após a morte nem a especular sobre A Salvação” (JOHNSON, 2013, p. 49). O autor ainda relata que o termo agnóstico seria o que melhor definiria a postura filosófica-espiritual de Darwin, entretanto este termo só seria cunhado posteriormente por outro proeminente biólogo dessa lista. Darwin desvelou a natureza de sua época através dos seus experimentos e não atribuiu suas descobertas a possíveis forças metafísicas, deixando claro em seus artigos e livros que não lhe importava interpretações sobrenaturais do mundo.

b) Thomas H. Huxley. O “buldogue de Darwin”, como era conhecido, foi um defensor ferrenho das ideias da Evolução. Foi também a voz de Darwin nas discussões após a publicação do *Origem das Espécies*. Darwin, na época, era um recluso morador do interior da Inglaterra e um orador medíocre, já Huxley, além de um exímio orador, possuía um tom cínico e ácido que, literalmente, corroía seus adversários nos debates. Além de ter cunhado o termo “agnosticismo”, Huxley contribuiu muito para divulgação científica e para ir contra o pensamento antropocêntrico, que na época ocupava a mente de muitos cientistas que gostavam de excetuar o homem das teorias e postulados biológicos. Ele colocou os seres humanos no seu devido lugar em sua obra “Evidências sobre o lugar do Homem na Natureza” em 1863. Não bastasse todo seu brilhantismo na carreira como cientista e político, T. H. Huxley ainda foi o fundador e patriarca de um clã de acadêmicos proeminentes da Inglaterra, sendo o avô de Sir Julian Huxley (primeiro diretor da UNESCO), Andrew Huxley (Fisiologista Prêmio Nobel) e Aldous Huxley (cultuado escritor de língua inglesa, autor do clássico distópico “Admirável Mundo Novo”).

c) J. B. S. Haldane. Geneticista e biólogo, Haldane cunhou uma das mais famosas frases do campo da biologia evolutiva: “O Criador, se Ele existe, possui uma predileção desmensurada por besouros”. Esta frase “lapidar” faz referência ao número total de espécies da ordem Coleoptera já descritas, algo em torno de 350 mil espécies atualmente. Ou seja, se existisse algum Criador, este teria designado algo em torno de 30% de sua criatividade desenvolvendo exclusivamente besouros, escaravelhos, joaninhas e gorgulhos. Haldane, então, contribuiu para o término de outra explicação

sobrenatural muito famosa: a de que uma deidade foi quem deu início a vida no planeta. O biólogo, ao lado do russo Aleksandr Oparin, é reconhecido por ter desenvolvido, independentemente, o pensamento sobre origem da vida, que foi aceito durante muito tempo e que contribuiu para as atuais hipóteses de surgimento da vida. Além disso tudo, Haldane dispôs boa parte de sua obra literária a questionar afirmações dos modos de pensamento não baseados em evidências. Filho de cientista, ele cresceu imerso nesse universo das ciências, um mundo natural, físico e observável. Em seu livro *Fato e Fé* (1934), o biólogo descreveu detalhadamente suas experiências com a ciência natural e com as doutrinas religiosas que teve contato durante sua vida, deixando evidente uma visão ateuista de mundo.

d) Ernst Mayr. O alemão, possivelmente o biólogo de maior expressão do século XX, desenvolveu vasta obra de divulgação científica, sendo o pai do campo da Filosofia da Ciência voltada para a Biologia, separando-a das ciências fisicalistas. O autor ainda é um dos cientistas envolvidos na síntese evolutiva que trouxe novos postulados e fatos para corroborar e expandir a Teoria da Evolução de Darwin. Não teísta declarado, Mayr sempre procurou em suas obras evidenciar a independência das ciências biológicas de conceitos metafísicos e também de conceitos fisicalistas, galgando o lugar que hoje se encontra a Biologia, uma ciência única em sua concepção filosófica.

e) Stephen Jay Gould (ver capítulo III). Biólogo, paleontólogo e ensaísta, Gould ficou conhecido mundialmente, principalmente, por sua vasta obra de divulgação científica, e por ser um dos responsáveis pela hipótese evolutiva do Equilíbrio Pontuado. Publicou na revista *Natural History* cerca de 300 ensaios em um período de 27 anos ininterruptos, tendo como temática principal a Teoria da Evolução e a História das Ciências, buscando desconstruir principalmente argumentos pseudocientíficos. Sua visão agnóstica de mundo foi aplicada em inúmeros ensaios em que o assunto principal partia de fábulas religiosas ou fatos pseudocientíficos e estes então eram desconstruídos à luz da ciência.

f) Richard Dawkins. O britânico, responsável pela popularização da teoria da evolução centrada no gene através do livro *O Gene Egoísta* (1976), é também uma das figuras mais polêmicas da atualidade em virtude da sua militância ateuista. Autor de várias outras obras de divulgação científica, entre elas “*Deus, Um Delírio*” (2006), Dawkins encabeça debates a cerca dos limites (ou da falta destes) das religiões ao redor do mundo, bem como pela popularização de políticas seculares. Dawkins ainda produziu trabalhos criticando a pseudociência, a medicina “alternativa”, os misticismos em geral e a influência das igrejas na educação pública. Foi eleito um dos 100 maiores gênios vivos em 2007, ficando na 20ª colocação, em uma enquete de um notório jornal britânico.

Além destes grandes biólogos citados, existiriam outros incontáveis exemplos que poderiam entrar nessa lista. Fora isso, os biólogos em formação ainda acabam tendo acesso às ideias de outras mentes seculares notórias das outras áreas da Ciência, em especial da Física, Química, Astronomia, Filosofia e Sociologia. Isso ocorre principalmente em disciplinas como Metodologia Científica, Filosofia da Ciência, Bioquímica, Biofísica, Geologia, Ecologia, dentre outras.

Entretanto, mesmo com tanto conhecimento e lições à disposição dos estudantes dos cursos de Ciências Biológicas, estes ainda acabam tendo que enfrentar outra problemática histórica e nociva ao pensamento humanista secular, que é o nosso próximo item.

4. O Antropocentrismo. O *Homo sapiens*, a obra perfeita d’O Criador, é um ponto de convergência nas histórias das religiões. Aliás, nem todos os seres humanos. Somente os machos da espécie que são o suprassumo da criação. Praticamente todas as religiões tinham na figura do homem o elemento principal de sua fundação e existência. Tudo fora criado para os homens. O universo, o planeta, os mares, a terra, o firmamento, as plantas, os animais, os demais seres vivos, o sol, a chuva, os ventos e até mesmo as fêmeas, absolutamente tudo tinha de alguma forma uma relação

de pertencimento aos homens. Embora existam registros de sociedades matriarcais na história das civilizações, estas são genuinamente a exceção e jamais a regra. O mundo era dos homens, pensavam eles (e infelizmente, ainda pensam).

Para a maioria das religiões, o homem sempre foi e sempre será o clímax da sua história. Ele ocupa o ponto central na figura de suas deidades, na figura de um deus único, masculino, antropomorfizado, barbudo, como representado está Jeová por Michelangelo em seus afrescos na Capela Sistina. No caso dos judeus e cristãos, não só a deidade é tida como uma figura masculina, mas também sua principal obra era um homem: Adão (tendo sobrado pra Eva, segundo o Velho Testamento, ser originada da costela de Adão apenas, e ainda ser a protagonista do Pecado Original ao dar “ouvidos” à serpente e comer primeiro o “fruto proibido”, e ainda oferecê-lo a Adão, que acabou também caindo na tentação de prová-lo).

Além da mitologia judaico-cristã, os homens também ocupam a esmagadora maioria das ações e posições de destaque nas escrituras sagradas e fábulas de praticamente todas as religiões modernas. Nesse ponto, religiões baseadas no Islã ganham destaque negativo ao tratar, em pleno século XXI, as mulheres como objetos de pertencimento exclusivo dos homens e não de si próprias, usando das escrituras para justificar práticas de humilhação e controle feminino, que podem chegar até mesmo ao absurdo de subjugarem as mulheres das mais terríveis formas possíveis, tudo isso com o aval de seus livros sagrados e líderes espirituais.

Os exemplos dessas práticas de antropocentrismo e machismo nas doutrinas religiosas são inúmeros e bastante conhecidos pela maioria: é O Deus, O Messias, O Papa, O Bispo, O Padre, O Profeta, O Frade, O Jesuíta, O Médiun, O Buda, se quiséssemos poderíamos preencher algumas páginas somente com isso, mas ainda temos outro grande problema para abordar: a ciência também foi antropocentrista e machista (e tragicamente, ainda é).

Assim como na interpretação religiosa, a ciência também acompanhou o pensamento contemporâneo de suas épocas, desde seu surgimento. A sociedade científica dos séculos XVII, XVIII, XIX e XX ainda via no Homem o produto mais importante da Evolução Biológica, reservando para nós o topo da Árvore da Vida, como fez Ernst Haeckel em 1879 em sua obra A Evolução do Homem.

Muitos biólogos e naturalistas distintos daquele tempo aceitavam a Evolução como a forma mais interessante e de acordo com a realidade de analisarmos a concepção da grande diversidade de espécies, entretanto excetuavam os seres humanos desse processo. Muitos também gostavam de analisar tudo como uma tendência a reproduzir a sociedade patriarcal, vigente na maior parte do mundo. Assim como faziam os cientistas do Clero que procuravam, através da ciência, confirmar e assegurar a importância da tradição cristã e dos escritos sagrados. Muitos primatologistas, até pouco tempo atrás, por exemplo, ao definirem questões de cunho comportamental das fêmeas desse táxon, apontavam essas apenas como criaturas dóceis que trocavam sexo e reprodução por proteção e alimento, ao invés de serem estudadas por suas próprias e específicas contribuições à sociedade primata.

Essa análise soa familiar para você, caro leitor? Talvez soe, afinal, muitas vezes nos deparamos com análises e trabalhos científicos feitos estritamente do ponto de vista dos machos como protagonistas e das fêmeas como coadjuvantes, estas servindo aos interesses daqueles. Mas então, se as doutrinas religiosas, a sociedade em geral e até mesmo boa parte da ciência já produzida são antropocentristas e machistas, como um biólogo em formação consegue escapar dessa visão de mundo? Mais uma vez voltamos a dar ouvidos para a evolução.

A Teoria da Evolução teve algumas atualizações, feitas *a posteriori*, pela adição do conceito da hereditariedade, descoberto por Gregor Mendel (1822-1884) e da unidade básica da evolução, os genes. Outros conceitos ainda foram

obtidos em disciplinas que antes não se relacionavam entre si, como a geologia, bioquímica, biologia molecular, citologia e sistemática. Com isso, a Teoria da Evolução das espécies ganhou corpo, isso nas primeiras décadas do século XX, sendo considerada então a teoria central dentro das ciências biológicas, chamada então de síntese evolutiva moderna. Um dos grandes contribuintes dessa época, Theodosius Dobzhansky (1900-1975), cunhou uma das mais célebres frases deste campo do saber e ajudou a sintetizar o pensamento de um biólogo que se preze: “Nada em biologia faz sentido, exceto à luz da evolução” (DOBZHANSKY, 1973, p. 125). Esta, além de ser a teoria unificada das ciências biológicas (que os Físicos, em seu campo do saber, continuam a procurar), possui uma perspectiva moral bastante interessante, que pode refletir na personalidade de seus cientes e admiradores.

Quando um biólogo se depara com a imensidão da biodiversidade do nosso planeta e dos locais que a vida foi capaz de prosperar, principalmente em disciplinas de áreas como a zoologia, botânica, microbiologia, evolução e paleontologia, seu ego tende a dar uma pequena murchada. É quase impossível não se sentir pequeno frente a tantas formas de vida únicas e inventivas, que ocupam os mais diversos lugares do planeta, que vivem nos diversificados tipos de habitat que podem ser explorados, que buscam energia através de incontáveis fontes e mecanismos, que se reproduzem das mais diferentes e impensáveis formas. Vamos constatar isso de forma mais elucidativa então.

Como se sentir especial, ao ponto de se colocar em um pedestal evolutivo, em um planeta com mais de 1 milhão de espécies já catalogadas e outras tantas ainda para serem descritas? Além de uma infinidade de outras espécies que feneceram sem deixar rastros e jamais saberemos de sua existência! Como se achar o ser mais adaptado e derivado no decurso evolutivo, se o nosso gênero, *Homo*, se originou somente, na melhor das expectativas, há 2,4mi de anos, nessa jornada de mais de 3,5bi de anos de vida no planeta (ou seja, os *Homo* sp. participaram de menos de 0,07% do tempo que a vida existe no planeta). Nossa espécie *H. Sapiens* então? Há “apenas” 200 mil anos (algo em torno de 0,006% do tempo desde que a vida surgiu). Um lapso pequeníssimo na escala de tempo da vida no planeta. Para a manutenção da sobrevivência da nossa espécie, necessitamos de uma série de condições bem específicas, como água potável, alimento, luz solar, oxigênio, abrigo das intempéries climáticas, cuidado parental extenso, etc. Se pararmos para comparar os nichos possíveis para a existência de vida, nós não somos de nada. A vida no planeta foi capaz de se desenvolver e de ocupar os mais diversos habitats. Os mares, os céus, os rios, o subsolo, a copa das árvores, a Antártica, a chaminé hidrotermal de um vulcão, os esgotos das metrópoles, o interior dos élitros de um besouro, entre os pelos do Simba (meu simpático cachorro), os intestinos deste biólogo que vos escreve e até mesmo parasitando o dorso de uma lagarta, consumindo-a posteriormente de dentro para fora. E essa lista poderia seguir, exemplificando a vasta quantidade de diferentes locais e condições em que a vida se desenvolveu, ou posteriormente ocupou, e prosperou. Somos insignificantes frente a tudo isso. E seremos muito mais, com o que vem sendo e que virá a ser descoberto pelos biólogos nos próximos anos.

Atualmente somos uma em um milhão, aproximadamente. Porque com relação a todas as espécies que já existiram e foram extintas, somos uma em muitos milhões. Presenciamos, na melhor das hipóteses, menos de 0,07% da história da vida no planeta. Ocupamos um nicho muito restrito na Terra, podendo assim facilmente sermos extintos dentro de algumas gerações (muito em virtude das práticas da nossa civilização, é bom deixar isso bem claro). E o resto dos seres vivos? E o planeta? E o universo? Seguirão seu curso, normalmente. Nossa vida só tem importância para nosso próprio ego, infladíssimo, que cresce cada vez mais segundo a visão pequena e restrita de determinados parcelas da sociedade.

Visões antropocêntricas, que só atrapalham a análise de mundo dos humanos. Ao não atentar para a importân-

cia do meio ambiente que nos cerca, deixamos de explorar toda potencialidade que a natureza tem. Ao mesmo tempo, consumimos desenfreadamente determinados recursos, ao acharmos que estes recursos todos foram “criados” para subsidiar as ações dos filhos de deus. Negligenciamos a importância do equilíbrio do meio ambiente e cá estamos na iminência de catástrofes das mais diversas, podendo até mesmo culminar isso com a extinção humana.

A mente que se abre para a imensidão e importância da biodiversidade da Terra jamais retornará ao tamanho anterior. Nela não restam espaços para o antropocentrismo. A visão de um biólogo que teve acesso a esse tipo de informação fica mais sensível e provê uma atitude diferenciada em relação a todas as formas de vida do planeta, ou seja, literalmente aos nossos semelhantes.

Ok, mas e quanto ao machismo? Ah, o machismo... ainda falta bastante a ser feito para superá-lo. Este é o ponto que nos encontramos atualmente, é o paradigma que a nossa geração tem a missão de quebrar. O que poderia nos tranquilizar, seria uma breve mirada para trás, uma reflexão em relação à história das ciências, para podermos nos deparar com tudo isso que a ciência já ajudou a desconstruir, evidenciar e ressignificar. A ciência sempre será aliada no combate aos obscurantismos da tradição. E o obscurantismo que impediu o progresso do pensamento da evolução biológica é o mesmo que impede a mulher de caminhar lado a lado aos homens. Esse pensamento machista já é há muito sustentado, principalmente, pela tradição social religiosa. Esse pensamento arcaico, excludente e preconceituoso também irá perecer. Como diria Chico Buarque de Holanda: “Você que inventou esse Estado e inventou de inventar toda a escuridão. Você que inventou o pecado, esqueceu-se de inventar o perdão. Apesar de você, amanhã há de ser outro dia”. Outro dia para as mulheres e para as “mulheres da ciência”. Outro dia para os humanos e para os humanistas seculares.

BIBLIOGRAFIA

CFBIO. **Resolução nº 227, de 18 de agosto de 2010. Dispõe sobre a regulamentação das Atividades Profissionais e as Áreas de Atuação do Biólogo, em Meio Ambiente e Biodiversidade, Saúde e, Biotecnologia e Produção, para efeito de fiscalização do exercício profissional.** Legislação do CFBIO. Disponível em: <<http://www.cfbio.gov.br/artigos/RESOLUCAO-N%C2%BA-227-DE-18-DE-AGOSTO-DE-2010>>. Acesso em: 14 set. 2015.

CLÉMENT, P. Creationism, Science and Religion: A Survey of Teachers' Conceptions in 30 Countries. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 167, p. 279–287, 2015.

DALRYMPLE, G. B. The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 190, p. 205-221, 2001. Disponível em: <<http://sp.lyellcollection.org/content/190/1/205.full.pdf+html>>. Acesso em: 17 set. 2015.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. São Paulo: Martin Claret, 2014, 556 p.

DAWKINS, R. **A grande história da evolução: na trilha de nossos ancestrais**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009, 759 p.

DOBSHANZKY, T. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, v. 35, n. 3, p. 125-129, 1973. Disponível em: <<http://img.signaly.cz/upload/1/0/9a462eb6be1ed7828f57a184cde3c0/Dobzhansky.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2015.

HALDANE, J. B. S. **Faith and Facts**. London: Watts & Co., 1934, 111 p.

JOHNSON, P. **Darwin: Retrato de um Gênio**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2013, 144 p.

LANDES, D. S. **A Riqueza e a Pobreza das Nações: Porque são algumas tão ricas e outras tão pobres**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2003, 760 p.

MAXWELL, M. R; GALLEGO, K. M.; BARRY, K. L. Effects of female feeding regime in a sexually cannibalistic mantid: fecundity, cannibalism, and male response in *Stagmomantis limbata* (Mantodea). **Ecological Entomology**, v. 35, n. 6, p. 775–787, 2010. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.13652311.2010.01239.x/epdf>>. Acesso em: 17 set. 2015.

MAYR, E. **Biologia, Ciência Única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005, 266 p.

SCHIENBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001, 384 p.

SHERMER, M. **Por Que as Pessoas Acreditam em Coisas Estranhas: Pseudociência, Superstição e Outras Confusões dos Nossos Tempos**. São Paulo: JSN Editora, 2011, 384 p.

CAPÍTULO II - UMA VISÃO PARTICULAR SOBRE A VIDA E OBRA DE CHARLES DARWIN

César Jaeger Drehmer¹

Charles R. Darwin nasceu em 12 de fevereiro de 1809, em Shrewsbury, interior da Inglaterra, filho de Robert Darwin e Susannah Wedgwood, no mesmo dia que o grande estadista norte-americano Abraham Lincoln, 16° presidente dos Estados Unidos da América, uma coincidência fascinante da história. Este texto tentará apresentar um cidadão britânico que viveu no século XIX, sob o reinado da rainha Vitória, a mais longeva ocupante do trono na Grã-Bretanha até aqueles dias, tão grande foi sua influência nos costumes, hábitos e comportamento daquele tempo que a sua época é chamada de “era vitoriana”. Este cidadão pode ser caracterizado como metucioso, dedicado e empenhado em suas tarefas, mas talvez sua virtude mais evidente tenha sido a coragem de propor uma ideia que, sabia ele, alteraria paradigmas de como a humanidade entende a diversidade da vida e, em última análise, a sua própria origem, como espécie.

Se estamos falando de paradigmas é interessante contextualizar o leitor acerca de qual era o paradigma científico vigente à época de Darwin (e anteriormente a ele) e que conduzia a prática dos naturalistas (esse termo ‘naturalista’ era comum no século XIX e se estendeu até o século XX, caracterizando toda uma gama variada de profissionais, muitos deles oriundos da própria medicina, mas que se dedicavam, na sua grande maioria, ao estudo das plantas e dos animais, mas também à geologia, à geografia, à química e outras áreas afins). Essa prática de lidar com os seres vivos, estudá-los, descrevê-los, nominá-los, enfim, remonta a um tempo muito anterior à Darwin, tendo sido executada à luz da ideia de que todos os seres vivos fossem resultado de uma intervenção divina e CRIADORA, um ato individual de GÊNESE, para cada tipo de ser vivo. A base teórica para essa crença era o primeiro livro da Bíblia, casualmente também denominado de Gênesis, onde nos seus primeiros capítulos aparece uma narrativa destes atos divinos. Todo naturalista digno deste nome trabalhava sob esta óptica, um dos mais prolíficos foi justamente um botânico sueco chamado Linnaeus (ou simplesmente Lineu) o pai da nomenclatura, criador do sistema binominal das espécies. Lineu, que viveu no século XVIII, em suas extensas e bem elaboradas descrições de plantas e animais exclamava com orgulho (e sem falsa modéstia, referindo-se a si mesmo na terceira pessoa do singular) sua satisfação em desvendar a mente e os mistérios de deus: “... Deus concedeu-lhe maior discernimento para o estudo da natureza, maior do que o de qualquer outra pessoa...”

Antes que você pense que essa arrogância deve ter sido sua ruína, fica o registro de que o sistema binominal é amplamente usado até hoje, e ainda não inventaram forma mais simples e mais eficiente de nominar as espécies, embora haja tentativas, todas elas bastante questionadas pela comunidade científica.

Você não precisa fazer um esforço mental muito grande para entender que este paradigma da ‘criação’ das espécies a partir de uma entidade divina não tem nenhuma sustentação nos dias de hoje, porque não pode ser testado, ou seja, passa ao largo do que conhecemos como método científico, não preenchendo os requisitos mínimos, necessários à condição de ciência. Evidente que esta alegoria da criação, expressa e manifesta de diferentes formas

¹Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas.

nas diferentes religiões, ainda cumpre seu papel de metáfora para propósitos de fé, e isto não está em discussão aqui. Mas como dito acima, você precisa saber que quem teve a coragem de desafiar este paradigma criacionista impositivo a todos os naturalistas e propor um paradigma alternativo e **testável**, pela primeira vez na história, foi Charles Darwin, mais especificamente no ano de 1859, com a 1ª edição de seu livro denominado “Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural” ou para simplificar o “Origem das Espécies”.

Não considero Charles Darwin um gênio; como dito anteriormente, suas maiores virtudes eram a determinação, a persistência, e ainda uma situação financeira familiar bastante tranquilizadora, um membro típico da aristocracia inglesa, condição necessária e vital para que seu empenho e sua dedicação resultassem no seu sucesso (sim, Darwin era abastado o suficiente para dedicar seu esforço inteiro à história natural, ele próprio admitiu isso em sua autobiografia, sem a necessidade de ter que arrumar um emprego formal!).

Tendo estudado em duas das maiores universidades do Reino Unido, Edimburgo na Escócia num primeiro momento (1825), onde tentou estudar medicina e Cambridge, na Inglaterra, num segundo momento (1827), onde tentou estudar para ser sacerdote anglicano. Em ambas fracassou, tendo gerado imensa preocupação em seu pai, muito embora tenha aproveitado a atmosfera acadêmica para conhecer e fazer amizade com grandes naturalistas, o mais conhecido deles, John S. Henslow, um dedicado e conceituado botânico e geólogo de Cambridge que veio a se tornar mentor e tutor de Darwin em sua juventude. Nós profissionais da Biologia, quando participamos de um congresso, um simpósio ou um seminário, sabemos que, muito além da programação formal, é das conversas de bastidores com os colegas que surgem ótimas e prolíficas ideias. Darwin sabia disso e, mesmo tendo dificuldades na sua formação acadêmica, aproveitou seu tempo da melhor maneira possível. Sobre Henslow afirmou: “...dispensava-me um tratamento afetuoso e cordial. De tanto que andávamos juntos, os companheiros passaram a chamar-me de ‘o acompanhante de Henslow.’” (Esboço autobiográfico).

Darwin sempre teve um fascínio por grandes viagens e seus relatos, e foi da leitura de “O Cosmos” do naturalista alemão Alexander von Humboldt que nasceu um desejo ardente de contribuir para o progresso das ciências naturais (talvez você não saiba, mas a corrente fria que sobe pelo Pacífico no continente sul-americano até o litoral do Peru, corrente de alta produtividade primária, se chama corrente de Humboldt). Aos 23 anos de idade surgiria uma oportunidade que transformaria sua vida. A convite do capitão Robert Fitzroy, o HMS Beagle partiria da Inglaterra por uma viagem ao redor do mundo, com objetivo de explorar os continentes, sobretudo do hemisfério sul, com fins comerciais e naturalistas (não sejamos ingênuos, militares também!). Para sua surpresa Darwin não teve a aprovação imediata de seu pai, que exigiu que alguém de reputação ilibada recomendasse sua viagem; seu tio Josiah Wedgwood veio socorrê-lo e assim, a 27 de dezembro de 1831, partindo do porto de Plymouth, sul da Inglaterra, zarpava o brigue. Sua viagem rendeu tantas lembranças e tanto conhecimento que Darwin as relatou com minúcias em um livro batizado “Viagem de um naturalista ao redor do Mundo” (1860, 1ª edição). Lembre-se que, entre tantos países, ele esteve visitando o Brasil, no ano de 1832; curioso saber que o nosso país recebeu o Beagle e toda a sua comitiva, Darwin desembarcou em Salvador e no Rio de Janeiro; foi nesta última cidade que ele presenciou uma cena de agressão a um escravo, registrando em seus diários o quanto isso lhe revoltava. Também descreveu com riqueza de detalhes a luxuriante Mata Atlântica (qual a porcentagem dela que ainda estava intacta em meados do século XIX?), suas flora e fauna exuberantes. Qualquer imagem da internet tendo como busca o itinerário do Beagle mostrará todo o percurso do navio, todos os países percorridos na América do Sul, Argentina, Chile, Peru e Equador (incluindo o célebre arquipélago de Galápagos). Não se esqueça de que no extremo

sul da América do Sul existe o estreito de Beagle, uma justa homenagem a um dos mais famosos navios a cruzar o sul do continente indo do Atlântico para o Pacífico. A viagem seguiu cruzando o Pacífico passando pelo desconhecido Taiti, chegando na Oceania, cruzando o oceano Índico, visitando as ilhas Maurício, Madagascar e chegando ao sul do continente africano. De volta ao Atlântico uma parada no arquipélago de Ascensão, outra no Brasil novamente e o retorno à Inglaterra onde chegaram em 02 de outubro de 1836.

Curioso observar que Darwin não era o naturalista oficial a bordo do Beagle. Esse cargo coube ao senhor Robert McCormick, que não suportou as adversidades da viagem e abandonou-a, quando então Darwin era apenas um naturalista convidado do capitão Fitzroy, alguém da sua classe social, que lhe fizesse companhia à mesa durante as refeições. Mais curioso ainda é lembrar que o capitão, além de oficial da marinha, foi um grande explorador, meteorologista, e governador da Nova Zelândia, ainda sob o comando do império britânico, de 1843 a 1845. Em 1865, suicidou-se! Para S. J. Gould um dos motivos de seu suicídio foi seu profundo sentimento religioso gerando uma imensa inconformidade por ter sido um catalisador das ideias que Darwin levou adiante culminando na publicação do “Origem”. Os historiadores divergem quanto aos motivos reais de seu suicídio, o fato é que, tanto Fitzroy quanto Darwin eram aristocratas ingleses, de mesma classe social, portanto podiam compartilhar uma refeição à mesa, algo que o capitão não faria com um trabalhador assalariado do Beagle.

Numa relação cronológica simples você deve estar concluindo que logo após seu retorno em 1836, ele deve ter publicado sua obra mais importante? Ledo engano, a primeira edição do “Origem” cujo nome completo é extenso, seguindo uma tradição das editoras do século XIX - “*On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*”, teve sua primeira edição em 24 de novembro de 1859. Porque tamanha demora (exatos 23 anos) entre o retorno da viagem e a primeira edição do “Origem”? Evidente que as respostas passam por questões pessoais e de foro íntimo de Darwin (a religiosidade de sua esposa Emma ou ainda uma doença crônica que o afligia) e de sua família (a morte de sua filha Annie, aos 10 anos de idade, em 1851, foi um golpe duríssimo na sua vida) entre outros fatores. Mas o fator mais preponderante, e aqui vai um elogio a uma das maiores virtudes de Darwin, foi sua extrema paciência, seu cuidado extremo e metucioso em analisar as evidências, não só as coletadas a bordo do Beagle, mas todos os experimentos conduzidos na *Down House*, repetidos e retestados para confirmar os resultados, e também sua cautela em debater os resultados com naturalistas experientes e especialistas em determinada área de estudo. No melhor exemplo da sua necessidade de integração com especialistas, Darwin não compreendeu a variedade de tentilhões (Aves, Passeriformes) que habitava as diferentes ilhas de Galápagos; quando levou sua amostra de coleta ao ornitólogo britânico John Gould, esse deixou-o boquiaberto ao afirmar que cada tipo de tentilhão pertencia a uma espécie diferente, com adaptações no bico específicos para um tipo de hábito alimentar, nas diferentes ilhas. Talvez Darwin jamais saberia disso sem o *expertise* de John Gould!

Outro fator de sucesso de Darwin, referido no parágrafo anterior foi sua capacidade de realizar ótimos experimentos, a maioria deles caseiros, para confirmar um fator crucial na corroboração da seleção natural: a seleção artificial, ou seja, aquelas modificações impostas às plantas e aos animais pela manipulação e interesse humano. Steve Jones em seu livro – “A ilha de Darwin, Galápagos em um jardim da Inglaterra” - descreve com detalhes todos esses experimentos - com pombos domésticos, com plantas em geral, com minhocas, observações em zoológicos com macacos, experimentos com pavões machos onde ele cortava parte de suas exuberantes penas caudais e etc. Você certamente já ouviu falar de uma ‘craca’, mas não tem bem certeza do que se trata? Pois saiba que Darwin escreveu quatro livros sobre

esses crustáceos sésseis que vivem em costões rochosos marinhos mundo afora, dissecando praticamente tudo sobre a biologia desses animais, seus fósseis, seu desenvolvimento embrionário, sua taxonomia, trabalho esse que lhe rendeu uma premiação pela Royal Society de Londres, em 1853. No capítulo VIII você encontra uma referência a um trabalho famoso de Darwin, sobre a importância dos insetos na fertilização de orquídeas.

Tratando-se especificamente do “Origem”, e aqui vai outro talento espetacular de Darwin, a sequência de capítulos do livro é meticulosamente planejada, ou seja, antes de introduzir sua ideia mais importante no capítulo IV - “Seleção Natural”, Darwin se estende e explana com muito esforço no capítulo I sobre a “Variação no estado doméstico” para então no capítulo II discorrer sobre a “Variação no estado nativo”. Sem esses dois capítulos o IV seria um ‘tiro no escuro’ com a aceitação do princípio da seleção natural jogada à própria sorte. Neste capítulo I Darwin apresenta todas as suas experiências com pombos domésticos, as variedades e os resultados de cruzamentos entre tipos diferentes; provavelmente você não está familiarizado com pombas, mas pense por um instante no seu cãozinho de estimação: tanto o pequenino *yorkshire* quanto o gigantesco fila brasileiro, ou o *dachshund* (o popular linguícinha) são todas raças diferentes de uma mesma espécie, *Canis lupus*, todas elas ‘melhoradas’ e/ou trabalhadas sob a interferência humana de acordo com os propósitos e as conveniências de cada selecionador humano. Darwin dedica um parágrafo do capítulo I aos nossos amigos canídeos. Inusitado também saber que todos os cães domésticos são descendentes do lobo do hemisfério norte!

Darwin foi extremamente cauteloso na parte introdutória do livro onde apresentou um “Esboço histórico do progresso da opinião acerca do problema da origem das espécies”, até a publicação da primeira edição deste trabalho, dando especial atenção ao enunciado prévio do ‘princípio’ da seleção natural, creditado com justiça a Patrick Matthew, numa obra de 1831 sobre construção naval! Além disso, ele apresenta uma lista comentada de autores que se referiram ao princípio, seja de forma direta ou indireta, como G. Saint-Hilaire, Richard Owen (o grande paleontólogo britânico contemporâneo que estudou os fósseis de vertebrados recolhidos pelo Beagle), T. H. Huxley (o ‘buldogue’ de Darwin tamanha a veemência com que defendia as ideias de seu compatriota), W. C. Wells, o conde de Buffon, R. Spencer, R. Chambers, von Baer e tantos outros. Mas nenhuma referência é mais justa que a que ele faz à ao cavaleiro de Lamarck (título do naturalista francês Jean Baptiste Pierre Antoine de Monnet, que no ano do seu nascimento - 1809 - publicou sua obra magna “Filosofia Zoológica” onde elaborou princípios interessantes e foi, nas palavras do próprio Darwin: “... deve-se a ele, em primeiro lugar, o eminente serviço de haver despertado a atenção para a probabilidade de que as modificações... fossem resultado de leis, e não de intervenções miraculosas...” (“Origem das Espécies”, 1859, pág. 33).

O capítulo III, denominado “Luta pela vida” é crucial na obra toda. Buscando *insights* fora da área da história natural como as obras do estatístico Thomas Malthus que afirmava que a produção de recursos (sobretudo alimentares) é uma progressão aritmética ($2 + 2 + 2 = 6$) enquanto que as taxas de reprodução são progressões geométricas ($2 \times 2 \times 2 = 8$), deveria haver um fator limitante para isso - sabendo que os animais se reproduzem a taxas altas demais, e que não haveria espaço na Terra se todos os animais tivessem 100% de sucesso reprodutivo! Da mesma forma foi nas ideias de Adam Smith, um economista que dizia que uma economia forte e saudável surge da busca incessante de cada um dos seus componentes pelo lucro individual, Darwin percebeu a metáfora perfeita para sua ‘luta pela vida’, por mais que tenha deixado claro que essa ‘luta’ não seria, necessariamente, um embate físico em si, e sim uma maior capacidade por explorar recursos e deixar mais descendentes do que o seu competidor da mesma espécie.

Um dos principais mentores de Darwin foi Charles Lyell, o renomado e famoso geólogo, seu contemporâneo.

Sua famosa obra *Princípios de Geologia*, publicado em 1830, foi fundamental para que Darwin aprendesse a ‘ler’ os extratos geológicos, compreender a sequência de camadas geológicas e, principalmente, interpretar adequadamente os restos de animais incrustados nessas rochas aos quais denominamos genericamente, fósseis. Sabemos nos círculos profissionais e nas aulas que ministramos que a diversidade da vida que existe hoje é apenas uma parte mínima de toda diversidade que já existiu (ver capítulo X), e que para compreendermos porque existem determinadas espécies nos dias de hoje devemos, obrigatoriamente, olhar para as espécies que já não mais existem. Você deve estar fazendo uma conexão rápida e óbvia com os famosos dinossauros, e está correto, eles são um belo exemplo de um grupo de répteis amplamente diversificados, em tamanho, em hábitos alimentares em distribuição geográfica e etc., que pereceram numa grande extinção há cerca de 65 milhões de anos, no final do período Cretáceo. A bem da verdade, e sem querer estender esse aspecto, uma única linhagem de dinossauros resistiu a este evento de extinção, dando origem à diversidade de Aves que hoje conhecemos.

Darwin reconheceu a importância de se olhar para os fósseis com atenção, tanto que dedicou um capítulo inteiro a este tema no ‘Origem’, o capítulo X, denominado “Sucessão Geológica dos Seres Organizados”, onde ele fala das imperfeições e da incompletude do registro fóssil (nem tudo que existiu, necessariamente ficou preservado nas rochas, ou seja, fossilizou), a irreversibilidade da extinção das espécies, algo bastante trivial nos dias de hoje, mas a sua época, ainda sob a égide do criacionismo, um tema ainda bastante disputado (na extinção de uma espécie, na lógica criacionista, o Criador recriaria esta espécie, como ato de bondade!). Compare a incompletude dos fósseis com o seguinte exemplo: se você olhar um álbum de fotografia de uma pessoa que você não conhece, nunca a viu pessoalmente, fotos desde a infância até a sua vida adulta, você não duvidará por um momento sequer da existência dessa pessoa, mesmo que com evidências indiretas, as fotos. Assim são os fósseis, não testemunhamos presencialmente seus momentos em vida, mas temos seus restos (as fotografias) para testemunhar sua pré-existência. Ou ainda outra metáfora adequada para a diversidade da vida é a do iceberg, a parte externa e visível do iceberg é a diversidade da vida atual, a enorme montanha de gelo submersa é a diversidade da vida que já existiu, ou seja, os fósseis.

Se a vida e as espécies foram criadas a partir de uma intervenção divina porque existe tanta lógica e coerência nas suas distribuições geográficas e nas suas afinidades? Porque só existem marsupiais (aqueles mamíferos com uma bolsa no abdome da fêmea para nutrir e carregar o filhote) na América e na Oceania? Porque em Galápagos as espécies de tentilhões (e também de cormorões, de iguanas e de lobos-marinhos) são tão parecidas com as que existem nas áreas continentais (Equador, Colômbia, Peru) adjacentes ao arquipélago? Porque existe a ema nos pampas sul-americanos, a avestruz nas savanas africanas e os emus na Oceania, todos eles parecidos, mas com diferenças marcantes e ocupando o mesmo nicho ecológico? Darwin considerou este tema tão peculiar que dedicou não um, mas dois capítulos inteiros para discorrer acerca da distribuição geográfica dos seres vivos, capítulos XI e XII.

Todo o livro não teria a mesma repercussão se Darwin não tivesse escrito o capítulo XIII. Para alguns especialistas em história da Biologia ele marca o início da Biologia como ciência moderna, como a conhecemos hoje. Denominado “Afinidades Mútuas dos Seres Organizados - Morfologia - Embriologia - Órgãos Rudimentares”, a quantidade de argumentos e de exemplos e o refinamento da redação, dão a impressão de que ele estava guardando o melhor para o final. Você já se perguntou por que os humanos têm apêndice? Ou por que temos um último molar (o dente siso) que surge tardiamente na nossa vida? Se você tentar buscar qualquer resposta que não inclua nossos ancestrais na savana africana, você já começou a responder errado. Em primeiro lugar nem tudo que existe no corpo de um animal ou de uma

planta é, necessariamente adaptativo. Não temos que achar explicações adaptativas para cada detalhe, cada minúcia, cada pequena estrutura de um organismo, essa lição Gould & Lewontin (1979) já nos ensinaram e a biologia moderna aprendeu. Quando nossos ancestrais antropoides há alguns milhões de anos vagavam na savana africana, suas refeições incluíam muito mais itens vegetais do que incluímos hoje. Daí uma estrutura em forma de apêndice, ligada ao intestino grosso, funcionando como um ceco para processamento de matéria vegetal em provável simbiose com certos tipos de bactérias foi uma estrutura adaptativa e funcional. À medida que evoluímos e cambiamos nosso hábito alimentar, para uma dieta muito mais (mas não exclusivamente) carnívora, esta estrutura deixou de ser funcional e passou a ser vestigial, não mais cumprindo sua função original. Mas mesmo vestigial ela ainda está lá, e quando ela inflama os médicos entram em ação, garantindo nosso bem-estar (pude testemunhar a dor e o incômodo de uma apendicite aguda!). Da mesma forma nosso último molar quando nasce (muitas pessoas já não têm este dente, nem os superiores, nem os inferiores, comprovado por raios-X, o que deve ser a tendência para a nossa espécie!) já não encontra espaço na nossa arcada dentária para se acomodar, devido ao fato de que a nossa linhagem descende de ancestrais onde as arcadas (maxilar em cima e mandíbula embaixo) estão cada vez menores, mais curtas, em função de uma caixa craniana cada vez mais abaulada e maior - o desenvolvimento dos organismos é coordenado e integrado, uma coisa acontece em função da outra - e convenhamos, podemos mastigar tranquilamente, eficientemente, sem a participação do dente siso, sua presença ou ausência não compromete esta função. Quando necessário extraímos este dente e, talvez, a maioria de nós tenha que usar aparelhos ortodônticos de correção e alinhamento dos dentes! A redação e o estilo de Darwin no “Origem” são de uma riqueza impressionante, ele encerra este capítulo XIII com uma frase genial: “Os órgãos rudimentares podem ser comparados com as letras mortas conservadas na grafia de certas palavras, mas omitidas na fala: elas servem como chave para o descobrimento da sua origem.” (“Origem das Espécies”, 1859, pág. 344).

Recorde-se que anteriormente referi que o “Origem” teve a sua primeira edição em 1859? Pois esta primeira edição vendeu exatos 1250 exemplares. Mais outras 5 edições, todas elas revisadas e com acréscimos em relação às anteriores vieram: em 1860 com 3 mil exemplares, em 1861 com mais 2 mil, em 1866 com mais 1500, em 1869 com 2 mil, e a última em 1872 com 3 mil livros. Advogo em aulas e palestras que a edição mais importante é a primeira e esclareço que, por mais que as outras 5 edições tenham incrementos e melhoras elas também têm a influência dos religiosos (mais especificamente da igreja anglicana) no sentido de ‘suavizar’ o texto materialista de Darwin, dando espaço para alguma intervenção divina. O exemplo clássico dessa interferência é o último parágrafo do último capítulo, ou seja, o epílogo do livro. Observe:

Existe grandeza nesta visão de vida, juntamente com todas as suas diversas capacidades, teria sido originalmente insuflada numas poucas formas, ou talvez numa única; e que, enquanto este planeta continua a girar, obedecendo à imutável Lei da Gravidade, as formas mais belas, mais maravilhosas, **evoluíram** a partir de um início tão simples, e ainda prosseguem hoje (“Origem das Espécies”, 1859, pág. 366, grifo nosso).

Esta é a tradução da PRIMEIRA EDIÇÃO, a de 1859. Nas edições subsequentes, Darwin inclui as palavras “pelo criador”, exatamente na frase “*teria sido originalmente insuflada pelo criador numas poucas formas*”, inegavelmente por força da influência religiosa citada. Mas sua redação original, sem interferência, sem pressão, sem ameaças, é o reflexo de sua ideia original, seu pensamento limpo e cristalino, traduzido em palavras escritas, e por isso, a mais recomendada para leitura (faço isso com frequência quando questionado por meus alunos sobre qual versão comprar para leitura: adquira a 1ª edição!).

Interessante notar que neste último parágrafo também, a única vez ao longo de todo o livro, ele usa a palavra “evolução” (ou um derivado dela). Ao longo do livro ele sempre se refere, e este termo lhe era mais familiar, à ‘descendência com modificação’, fruto de sua observação na natureza e fruto também de sua ampla experiência com a já referida seleção artificial. O termo ‘evolução’ foi cunhado pelo naturalista alemão Albrecht von Haller em 1774, mas esta palavra, que em latim significa ‘desenrolar’ tinha uma conotação embriológica, no sentido do desenvolvimento de um novo ser (um embrião pré-formado que se desenrola; recomendo uma ótima leitura para essas questões de como a ciência chegou à conclusão correta de como se dá o desenvolvimento embrionário de um único indivíduo, desde a fecundação até a morte, do livro “O ovário de Eva” da portuguesa Clara Pinto Correa). Somente no ano de 1864 o britânico Herbert Spencer em seu livro intitulado “Princípios de Biologia” foi quem, pela primeira vez, deu um significado de mudança orgânica à palavra ‘evolução’, onde as afinidades de parentesco entre as espécies eram levadas em conta. Aqui, talvez você não perceba, pode-se ter uma noção cronológica de como a aceitação da evolução da vida só poderia acontecer a partir do século XIX, pois antes disso, os naturalistas do século XVII e XVIII ainda se debatiam com questões bastante óbvias nos dias de hoje às quais temos respostas fáceis nos livros de biologia de ensino médio, mas àquela época não: como um único indivíduo surgia e se desenvolvia? Era o organismo materno que o produzia, sozinho? Era o organismo masculino, sendo o útero apenas um receptáculo para o seu desenvolvimento? Era uma combinação de ambos? Mas como isso se dava? E antes disso, voltando ainda mais no tempo, em meados do século XVI e início do XVII a ciência, timidamente, tentava demonstrar que a Terra não era o centro do universo, com consequências nefastas para quem afirmava o heliocentrismo, Galileu que o diga, ou ainda trágicas, Giordano Bruno que o diga (morreu na fogueira, no ano de 1600, acusado de heresia pela inquisição da igreja católica, por afirmar que muitas outras estrelas céu afora deveriam abrigar uma infinidade de outros planetas)!

Uma figura central na vida de Darwin foi o naturalista inglês Alfred Russel Wallace. Trabalhando paralelamente à Darwin, fazendo grandes viagens mundo afora (visitou o Brasil, mais especificamente a floresta amazônica, onde coletou espécimes de animais e plantas) e era radicado na Indonésia. Ao ano de 1858 enviou seus manuscritos para Darwin (conhecido como manuscrito de Ternate, uma ilha da Indonésia, onde Wallace vivia), na Inglaterra, onde enunciava o princípio da seleção natural, de forma muito semelhante ao “Origem”. Darwin espantou-se com a semelhança dos trabalhos e procurou seu amigo, o já mencionado geólogo Charles Lyell para um conselho. Lyell, juntamente com Joseph Hooker, acharam uma solução conciliadora, propondo a leitura conjunta dos manuscritos de ambos, na *Linnean Society* em Londres, isso aconteceu em 1º de julho de 1858, na ausência dos autores (Wallace bastante doente na Indonésia e Darwin sepultando um filho seu, recém-nascido). A obra de Wallace “Sobre a Tendência das Variedades de se Separarem Indefinidamente do Tipo Original” foi publicada ainda em 1858. Seria justo dar todo o crédito à Wallace já que sua obra foi publicada um ano antes da de Darwin? Talvez. Wallace tem seus indiscutíveis méritos, os historiadores confirmam isso, mas ele cometeu dois equívocos: ele não reconheceu na seleção artificial nenhuma analogia direta com a seleção natural e ele não aceitou que a seleção natural tivesse alguma influência na evolução humana, principalmente o cérebro e as suas faculdades. O quanto esses equívocos diminuem sua obra é uma pergunta que se faz até hoje, podemos comparar a postura de Wallace como uma pessoa que se propõe a subir uma grande escadaria para contemplar uma linda paisagem desde o degrau mais alto, mas ele parou no penúltimo degrau, com receio, talvez, da reação dos religiosos. Também são pouco consistentes as versões de que Darwin tenha deliberadamente plagiado Wallace (Davies, 2013). Uma revisão histórica interessante sobre fatos curiosos da vida de Darwin, entre os quais essa possibilidade - você pode

encontrar em *“Ten myths about Charles Darwin”* de autoria de K. Padian. Wallace cunhou o termo “darwinismo” ele se intitulava a ‘lua’ de Darwin (que era o sol) e fez questão de ser um dos carregadores de uma das alças do caixão dele, por ocasião do seu funeral em 19 de abril de 1872. Isso atesta o quanto Wallace estimava Darwin e não guardava nenhum sentimento por ele que não fosse admiração e respeito.

Darwin foi um escritor prolífico publicando muitas outras obras importantes, antes e após a primeira edição do “Origem”. “Notas ornitológicas” de 1836 e “A viagem do Beagle” de 1845 são alguns exemplos da sua produção antes de 1859. “A descendência do homem e a seleção em relação ao sexo” de 1871 é uma obra extremamente importante onde ele introduz um conceito fundamental denominado “seleção sexual”, e polêmico, pois ele assume abertamente que a espécie humana é também um produto da ação da seleção natural - a já referida coragem que faltou à Wallace. Nessa mesma linha “A expressão das emoções no homem e nos animais” de 1872, é um livro corajoso que compara a nossa espécie com outros animais e nos coloca na condição de primatas, aparentados que somos dos chimpanzés, dos gorilas e dos orangotangos. Darwin adiou a publicação desta obra, sabendo da imensa repercussão que causaria, mas já na sua velhice, provavelmente pouco se importava com as consequências na sociedade. “Variação dos animais e plantas sob domesticação” de 1868 é uma extensão meticulosa e detalhada da ação da seleção artificial promovida pelos seres humanos, uma obra que sedimentou a importância da variabilidade no estudo dos organismos, ao contrário do paradigma criacionista, que entendia a variabilidade como um desvio da forma original arquitetada por um criador, e, portanto, desinteressante e desnecessária! Você encontra as obras completas de Darwin, todas digitalizadas, incluindo sua correspondência em <http://darwin-online.org.uk>.

O Darwinismo e a seleção natural têm implicações modernas das mais diversas. O alcance de sua teoria é tamanho que você teria imensa dificuldade em acreditar que áreas tão díspares do conhecimento humano poderiam ter alguma relação com Darwin. Uma ótima compilação destas implicações é apresentada por Rose no didático livro “O espectro de Darwin, a teoria da evolução e suas implicações modernas”. Derry publicou uma excelente revisão destes temas em 2008 num ensaio interessante denominado *“Darwin in Disguise”*, traduzindo “Darwin em disfarce”, onde ele relaciona temas como ‘psicologia evolutiva’, ‘memética’, ‘medicina darwiniana’, ‘neuroeconomia’, ‘psicolinguística’, ‘cosmologia evolutiva’ e ‘sexologia’, temas improváveis, mas com alguma relação com a teoria. Marchetti e colaboradores publicaram em 2011 *outpaper* (perturbador para alguns) cujo título *“Some remarks about murder: a darwinian perspective”* propõe uma nova área do conhecimento humano, a ‘criminologia darwiniana’. Seria possível traçar perfis de assassinos através de uma perspectiva evolutiva? Aparentemente, sim! Da mesma forma análises filosóficas/epistemológicas da obra de Darwin também abundam na literatura, citarei apenas uma aqui, seminal para aqueles que quiserem se aprofundar no tema, do filósofo norte-americano Daniel Dennett “A perigosa ideia de Darwin, a evolução e os significados da vida”.

O ano de 2009 foi um marco para a biologia evolutiva. Numa coincidência interessante, celebramos os 200 anos do nascimento de Darwin e os 150 anos do “Origem”. Muitos eventos marcaram esse ano, desde comemorações no dia 12 de fevereiro (Darwin Day Celebration) como publicações, de *papers*, de livros, de biografias, em vários países do mundo, em vários idiomas, todos ressaltando algum aspecto curioso, ou apenas revisando a vida e a obra do grande naturalista. Para citar dois exemplos brasileiros o jornalista Reinaldo J. Lopes publicou um livro denominado “Além de Darwin”, em linguagem simplificada e acessível, apresenta as ideias de Darwin e suas consequências no mundo atual (bons jornalistas escrevendo sobre ciência, no Brasil, é algo raro!). No mesmo ano o biólogo Sandro de Souza publicou

“A goleada de Darwin”; usando metáforas futebolísticas, bem ao gosto do público brasileiro. O autor centrou sua análise nas disputas criacionismo/darwinismo, apresentando a lógica e a consistência dos argumentos científicos e a irracionalidade do design inteligente, cuja influência especialmente no EUA, levou aos tribunais comunidades inteiras como a do condado de Dover na Pensilvânia em 2004, um julgamento histórico. Felizmente o juiz federal John Jones III que julgou o caso, considerou o design inteligente como uma manifestação religiosa, incompatível e inconstitucional, impedindo-o de ser ensinado nas aulas de ciência daquela comunidade.

Dois excelentes biografias sobre Darwin também foram publicadas e merecem recomendação. A. Desmond e J. Moore lançaram em 1991 “Darwin a vida de um evolucionista atormentado”, um relato de detalhes históricos nunca antes apresentados, como a atmosfera da Inglaterra vitoriana do século XIX e os conflitos pessoais e profissionais vividos pelo grande naturalista (infelizmente a edição brasileira só viria 9 anos depois!). Estes mesmos autores, por ocasião do bicentenário, em 2009, publicaram “A causa sagrada de Darwin”, onde eles advogam brilhantemente que, mais do que um naturalista dedicado e metódico nos seus experimentos, Darwin foi um grande humanista empenhado em considerar todas as raças humanas como merecedoras de direitos iguais (algo bastante radical para a Europa no século XIX) e francamente contrário à escravidão (já abolida na Inglaterra desde o início deste mesmo século). Também recomenda-se o próprio esboço autobiográfico de Darwin, onde ele relata passagens curiosas e pitorescas de sua infância e juventude, suas indecisões e as já referidas influências na sua vida; algumas edições do “Origem” incluem a autobiografia.

Nós, professores de ciências no ensino fundamental ou médio nas escolas, ou das diferentes disciplinas do curso de Biologia nas diferentes universidades, especialmente as públicas, nos sentiríamos constrangidos de ter que ensinar uma alternativa não científica à evolução aos nossos alunos. Que as disciplinas de religião o façam! Nós sabemos que a Terra é redonda (levemente achatado nos polos) e que isso é um fato inquestionável, muito embora nossos ancestrais tenham construído esse conceito a partir de um modelo de Terra plana (as grandes navegações dos europeus não iniciaram antes que se tivesse certeza disso, ou o risco de cair no grande abismo da beira da Terra seria muito grande!). A gravidade também é uma realidade inquestionável (desde Isaac Newton) e ninguém apresenta a possibilidade de ela não existir como uma alternativa didático/pedagógica nas escolas! Pois assim a evolução é, um fato, corroborado pelas mais distintas áreas da Biologia (a paleontologia, a zoologia, a botânica, a genética, a microbiologia e tantas outras) e qualquer explicação sobrenatural NÃO TEM lugar na aula de Biologia! Essa transformação no pensamento humano aconteceu, de forma definitiva e irrevogável, a partir da publicação do “Origem das Espécies” pelo naturalista britânico Charles Darwin em 24 de novembro de 1859!

BIBLIOGRAFIA

- DARWIN, C. **Origem das Espécies**. 1. ed. Belo Horizonte: Itatiaia, 1985. 382 p.
- DARWIN, C. **Viagem de um naturalista ao redor do mundo**. São Paulo: Cia. Brasil, 1948. 462 p.
- DAVIES, R. 1 July 1858: what Wallace knew; what Lyell thought he knew; what both he and Hooker took on trust; and what Charles Darwin never told them. **Biological Journal of Linnean Society**, v. 109, p. 725-736, 2013.
- DENNETT, D. **A perigosa ideia de Darwin - a evolução e os significados da vida**. Rio de Janeiro: Rocco, 1998. 609 p.
- DERRY, J. F. Darwin in disguise. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 2, p. 73-79, 2009.
- DESMOND, A; MOORE, J. **Darwin - A vida de um evolucionista atormentado**. São Paulo: Geração Editorial, 2000. 796 p.
- DESMOND, A; MOORE, J. **A causa sagrada de Darwin - raça escravidão e a busca pelas origens da humanidade**. Rio de Janeiro: Record, 2009. 668 p.
- GOULD, S. J.; LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London B**, v. 205, p. 581-598, 1979.
- JONES, S. **A ilha de Darwin - Galápagos em um jardim da Inglaterra**. Rio de Janeiro: Record, 2009. 375 p.
- LOPES, R. J. **Além de Darwin - evolução: o que sabemos sobre a história e o destino da vida**. Editora Globo, 2009. 246 p.
- MARCHETTI, M.; BARALLA, F.; CATANIA, G. Alcune considerazioni sull'omicidio: una prospettiva darwiniana. **Rassegna Italiana di Criminologia**, v. 4, p. 44-51, 2011.
- PADIAN. K. Ten myths about Charles Darwin. **Biology in History**, v. 59, n. 9, p. 800-804, 2009.
- PINTO-CORREIA, C. **O ovário de Eva - a origem da vida**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 468 p.
- ROSE, M. R. **O espectro de Darwin - a teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno**. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 2000. 264 p.
- SOUZA, S. **A goleada de Darwin - sobre o debate criacionismo/darwinismo**. Rio de Janeiro: Record, 2009. 221 p.

CAPÍTULO III - ENSINANDO EVOLUÇÃO: A PEDAGOGIA DE STEPHEN JAY GOULD

Renata Portugal Oliveira¹

Certa vez, ao acompanhar minha irmã em uma aula de um curso preparatório tive uma inédita e estranha experiência de estar em uma sala de aula sem um professor. Digo isso, porque a sala branca com suas confortáveis e estufadas cadeiras azuis contava com um grande monitor de tv no lugar de um quadro e giz. Através da tela passava-se uma vídeo-aula. Naquele momento, dado o desconforto que sentia pela falta de um professor em pessoa na sala, me perguntei qual o papel de um professor na formação do sujeito?

Estudante de licenciatura em Ciências Biológicas e apaixonada pelas aulas de evolução e história da vida, eu me perguntava todos os dias como a biologia poderia contribuir no dia-a-dia das pessoas. Em que pese os campos intelectuais serem construídos a partir de concepções que se encontram em alguns aspectos e se desencontram em outros, não concordo com a ideia de que o papel da ciência seja o de descobertas de verdades absolutas, de como as coisas são. Esse argumento da frieza científica, da imparcialidade do pesquisador e da negação ao lado filosófico e social do ser humano sustenta até os dias de hoje preconceitos velados, mentiras subjetivas e idealismos radicais além da concepção de que a ciência é uma instituição tão poderosa quanto a religião, comandada por uns poucos seres detentores do conhecimento, que nada podem fazer diante dos fatos e números produzidos em observações, testes e experimentos. De toda a lógica da qual se pode dispor, a equação é razoável e simples: a ciência é praticada por pessoas e, portanto, está sujeita as circunstâncias que cercam o pesquisador, incluindo sua cultura, traço que tem tanta força sobre as ideias e ideais humanos quanto nossos genes egoístas (Dawkins, 1976).

Como professora de biologia defendo a ciência com afinco, já a defendia antes de minha formação. Desde criança o estudar sobre ciências sempre me fascinou e por esse motivo posicionei-me a favor dela, penso que todo ser humano tem uma curiosidade inata de saber sobre sua história em detalhes, de onde veio, para onde vai e quais suas relações com as leis que regem a natureza da qual ele sabe que faz parte. Por esse motivo, confio que saber sobre a importância da ciência e o quão ela pode ser benéfica para a humanidade não é o suficiente. A mídia já faz o papel de nos informar sobre as grandes descobertas científicas do momento. É preciso ensinar sobre a ciência para todas as pessoas, divulgá-la para além dos meios de comunicação midiáticos e na maioria das vezes tendenciosos. A escola, a universidade e a sociedade precisam discutir sobre a ciência, não apenas produzindo-a ou aceitando-a como verdade inquestionável. A luz do saber científico reside no seu questionamento, nas dúvidas que ela é capaz de produzir em todo aquele que com ela entra em contato. A reflexão sobre o saber científico e sobre o seu ensino perpassa por diversas áreas do conhecimento como a filosofia, a sociologia e a pedagogia, esta última apontando o importante papel que os professores de ciências e neste texto mais enfaticamente os professores de biologia têm na profissão docente.

Voltando ao início do texto e fazendo uma reflexão percebe-se que o contexto do ensino mudou. Hoje podemos

¹Universidade Federal da Fronteira Sul.

trocar saberes através de vídeos, fóruns na internet e redes sociais. Nunca foi tão fácil divulgar dados sérios e também achismos para um número tão grande de pessoas. O ensino não acontece somente na sala de aula, com professor e aluno presentes no mesmo espaço, aprendemos a todo momento, em nossas relações e socializações diárias. Mas toda a informação que nos chega modifica nossas concepções e nos faz pensar? A resposta é não. Uma parte das informações nos é apenas transmitida de forma automática e não faz grandes transformações em nosso saber. Para ocorrer construção de saberes e criticidade é preciso que cause um conflito cognitivo, conceito utilizado por Jean Piaget (1971) para explicar como a dúvida sobre o que já sabemos pode nos desestabilizar e após esse novo conhecimento deve fazer sentido, ou seja, ser significativo.

Tomando como base o ensino de biologia este texto destaca os livros de Stephen Jay Gould (1941-2002), biólogo evolucionista que foi um dos maiores divulgadores da ciência do século XX. Gould nasceu em 1941 nos Estados Unidos. Aos cinco anos de idade, fez sua primeira visita ao museu de história natural de Nova York. Lá viu o esqueleto de um tiranossauro rex e então encantou-se pela ciência, tornando-se paleontólogo, professor da Universidade de Harvard e escritor, além de ser um aficionado por beisebol. Os textos de Gould passam a imagem de um homem com uma visão peculiar da vida, com capacidade de enxergar as diversas facetas do ser humano em seu relacionamento com a natureza, com a habilidade de viajar no tempo e no espaço ora fazendo o leitor olhar para dentro de si, ora fazendo com que ele perceba o que existe ao seu redor e tudo isso somado a um estilo de escrita simples e fascinante. A pedagogia de Gould para ensinar ciências é simples, ele leva o leitor a duvidar daquilo que sabe provocando o conflito interno do saber, convidando-o a viajar no tempo e achar as próprias lacunas das verdades absolutas que carrega. Na revista de divulgação científica norte-americana *Natural History* onde assinava a coluna intitulada “Esta visão da vida”, Gould publicou nada menos do que trezentos ensaios consecutivos com ideias e enredos completamente distintos traduzindo a biologia em detalhes que passam despercebidos aos nossos olhos.

TRÊS SALTOS EVOLUTIVOS NA COMPREENSÃO DA BIOLOGIA

Firme e polêmico em suas colocações, o mesmo homem que aproximou o público leigo do estudo da ciência também causou indignação em razão de seus posicionamentos pessoais acerca da evolução biológica. Quando cursava doutorado na Universidade de Columbia, na qual obteve seu título em 1967, Gould elaborou juntamente com seu colega Niles Eldredge a teoria do Equilíbrio Pontuado, a qual propõe um ritmo da mudança evolutiva diferente do clássico gradualismo adotado por Charles Darwin. Para Gould e Eldredge a mudança pode sim ocorrer em picos de grande especiação alternados com períodos em que quase não há nenhuma mudança morfológica significativa, como por exemplo, com o surgimento de espécies novas (Eldredge & Gould, 1972).

Em um segundo momento de seus estudos, ao escrever um artigo intitulado “Os Spandrels de San Marco e o paradigma panglossiano: uma crítica ao programa adaptacionista” Gould e seu colega Richard Lewontin causaram grande inquietação em seus colegas ao afirmar que nem todas as características são adaptativas e possuem uma finalidade. Nesta crítica os autores referem que os espaços triangulares construídos entre dois arcos em paredes perpendiculares nas grandes catedrais dos países do velho mundo (San Marco é a catedral da cidade de Veneza na Itália), são subprodutos arquitetônicos que acabam sendo utilizados para fins ornamentais, mas que não fazem parte do projeto original da construção da igreja. Ao utilizarem esta metáfora os autores referem que nem toda estrutura ou característica na

morfologia dos organismos tem que ser, obrigatoriamente, adaptativa, ela pode ser simplesmente o subproduto de outras estruturas que surgem no desenvolvimento do organismo, e apresentam o exemplo desconcertante das diminutas patas anteriores dos famosos dinossauros do Cretáceo, o tiranossauro, que são reduzidas por consequência de outras estruturas serem muito desenvolvidas, e que não há necessidade de se ‘inventar’ uma história adaptativa para as mesmas. Este discurso alinhou-se com o terceiro grande momento de contribuição do biólogo nos estudos sobre a evolução. Segundo Gould e Lewontin (1979), o acaso é uma força natural poderosa e caprichosa, capaz de alterar o próprio rumo da seleção natural. Esta afirmação foi duramente criticada por outros pesquisadores por diminuir o poder de atuação do mecanismo de seleção natural na origem de novas espécies.

Em seus textos, Gould foi capaz de criar metáforas do cotidiano para explicar conceitos científicos importantes e desmistificar outros. Um exemplo foi no livro “O Polegar do Panda” no qual um dos ensaios versou sobre a evolução da figura de Mickey Mouse, personagem da Disney. Gould utilizou o pequeno ratinho e as mudanças nos seus traços ao longo do tempo para explicar algumas características da evolução humana como por exemplo, a capacidade que temos de preservar na idade adulta traços da fase juvenil e características de “fofura” as quais nos auxiliam em nosso desenvolvimento.

A LITERATURA CIENTÍFICA DE GOULD

Uma situação comum nas escolas é que os professores de todas as etapas do ensino percebem a falta de interesse na leitura por parte dos alunos, o que remete aqui a um questionamento quanto a uma possível forma de introduzir o gosto pela leitura na sala de aula.

Já tive o privilégio de cantar com a Sinfônica de Boston em Tanglewood no coro da mais atordoante de todas as peças musicais dominadas pelo volume (...) o som dos metais tomou meus ouvidos de assalto, mas o trovejar dos tímpanos seguiu outro caminho, dessa vez inesperado... (GOULD, 1993, pág. 96).

Assim Gould começa seu ensaio “Enchendo os Ouvidos (capítulo II - **Dedo Mindinho e seus Vizinhos**)”, conduzindo seus leitores dos acordes mais brandos da música – conhecida e vivenciada por todos nós, até versar sobre como se formou a cadeia de ossículos no ouvido médio dos mamíferos, a partir dos répteis mamaliformes. Adiante, o autor explica porque se sentiu como um peixe:

Os peixes percebem as vibrações do som que é transmitido pela água através de seus órgãos das linhas laterais. Os peixes em outras palavras, “ouvem” sentindo – Como aconteceu comigo quando percebi as vibrações sonoras através de uma plataforma de madeira cuja densidade era mais próxima da água do que do ar (GOULD, 1993, p. 97).

Em “O Primeiro Desvelamento da Natureza” (capítulo VIII – **Dinossauro no Palheiro**), o autor fala sobre a vida do naturalista Lineu, criticando a ideia subestimada de que a ciência dá a sua obra, dentre outros pontos, porque o sistema de classificação dos seres vivos por ele criado é antigo (1758):

Lineu é certamente reconhecido e respeitado entre os biólogos. Num âmbito maior, ele desenvolveu o sistema de nomenclatura binomial que usamos até hoje (sem nenhuma alteração substancial desde que ele o formulou) para designar e classificar todos os organismos. Num âmbito mais paroquial, foi ele quem batizou a nossa espécie com o nome *Homo sapiens*. No entanto, acredito que sistematicamente subestimamos Lineu, avaliando-o segundo uma noção equivocada de como o conhecimento cresce. Vêmo-lo como um grande organizador de informações (GOULD, 1997, p. 500).

Neste texto é possível compreender que a ciência não é feita de teorias melhores e mais importantes do que outras, mas sim de uma continuidade de estudos que se complementam e se acumulam, interessante para que o professor use em uma introdução ao conteúdo ‘classificação dos seres vivos’, por exemplo. O autor ainda explica que a ciência progride no sentido de obter explicações mais precisas, porém, um dos fatores que atrapalha o entendimento e deve ser reavaliado é a ideia de que o que é científico, precisa necessariamente advir de descrições rigorosamente científicas. O professor pode inclusive propor uma discussão sobre o que é o saber científico, uma vez que a construção deste conceito pelos alunos, certamente terá implicações, mais adiante, na postura destes perante a sociedade.

Seguindo a discussão sobre como a ciência se construiu perante a contribuição de grandes cientistas, o ensaio “Sombras de Lamarck” (capítulo II – **O Polegar do Panda**) traz uma crítica de Gould semelhante a que ele se refere no ensaio sobre Lineu, porém neste texto são as ideias de Lamarck que são comentadas pelo autor. Gould inicia incitando o leitor a uma reflexão:

A tirania do que parece razoável muitas vezes empecilha a ciência. Quem, antes de Einstein, teria acreditado que a massa e o envelhecimento de um objeto poderiam ser afetados se ele se deslocasse a uma velocidade próxima à da luz? (GOULD, 1989, p. 65).

O autor em outras palavras enfatiza a importância de se reconhecer o feito de um naturalista que foi o primeiro a escrever trabalhos questionando a imutabilidade das espécies, abrindo assim caminho para outros pesquisadores se engajarem em entender mais sobre a natureza. Gould ainda compara as diferenças principais entre as teorias de Lamarck² e Darwin e comenta como os cientistas ao longo da história se comportaram com relação a essas duas teorias. Quase no final do texto, o autor expõe uma afirmação que pode ser um assunto interessante para o professor de biologia discutir com seus alunos em sala de aula. Segundo o autor,

...a evolução cultural humana é de caráter Lamarckista, em forte oposição à nossa história biológica. O que aprendemos numa geração é transmitido diretamente pelo ensino e pela escrita. Caracteres adquiridos são herdados na tecnologia e na cultura. A evolução lamarckista é rápida e acumulativa (GOULD, 1989, p.72).

Quando se fala em evolução biológica, tem-se a tendência a desvinculá-la da evolução do *Homo sapiens* como ser social. Nas palavras de Gould é possível perceber que existe evolução das características culturais humanas, porém este assunto não é comum de ser tratado nas aulas de biologia. Frequentemente estes aspectos são discutidos nas aulas de sociologia, história e filosofia igualmente desconectadas da sua ligação com o campo biológico. Para Gould, a transmissão de características está presente tanto na teoria de Lamarck, quanto na de Darwin, porém, na primeira esta transmissão ocorre de forma direta, por isso o autor a vincula a evolução cultural do homem. Como se pode perceber, este texto traz uma riqueza de informações que podem dar vazão a um trabalho interdisciplinar interessante com alunos da educação básica.

Em “A Natureza Episódica da Mudança Evolutiva” (capítulo V - **O Polegar do Panda**), Gould argumenta de forma clara e concisa sobre a já referida teoria do Equilíbrio Pontuado, o texto inicia explicando que Darwin era um adepto

²Jean Baptiste Lamarck foi um naturalista francês pioneiro nos estudos sobre as leis naturais em torno da origem dos seres vivos, contrariando o criacionismo. Para Lamarck, as espécies passavam por transformações morfológicas de acordo com sua necessidade de uso e desuso em detrimento de suas necessidades adaptativas. Tais características eram passadas hereditariamente, ou seja, de pai para filho.

estrito ao gradualismo, ou seja, de que a evolução dos seres vivos ocorre de forma lenta, contínua e gradual a partir de sucessíveis mudanças nas gerações de uma população (DARWIN, 1985), um dos pontos pelos quais a sua teoria foi criticada fortemente. Para defender esta ideia, Darwin argumentou que o registro geológico (os fósseis) é extremamente imperfeito e que, por isso, não se encontram nas rochas espécies ligando umas às outras mostrando essa mudança gradual. Para Gould e seu colega Eldredge, “As linhagens mudam pouco durante a maior parte da sua história, mas eventos de especiação rápida ocasionalmente pontuam essa tranquilidade” (GOULD, 1989, p.165). O autor ainda coloca que não deseja impugnar a validade do gradualismo e apenas apontar que ele nunca foi “visto” nas rochas. Compreender os diferentes posicionamentos dos cientistas ao longo da história e desenvolver um posicionamento crítico e próprio a respeito dos fenômenos são elementos essenciais para o aluno construir-se um cidadão ativo e participativo da sua sociedade. Neste texto é possível um estudo com toda a turma ou dirigido em grupos, a fim de que os alunos apontem os principais aspectos que lhes chamaram a atenção durante a leitura. O professor pode também estimular a capacidade de argumentação e de escrita propondo a elaboração de resenhas dos textos pelos alunos.

O último ensaio de Gould do qual este texto irá tratar intitula-se “Caminhando pela Evolução” (capítulo V – **Dinossauro no Palheiro**), no qual Gould inicia elogiando as salas de uma exposição de mamíferos no *American Museum of Natural History*:

Admiro essas novas exposições porque seguem a estratégia pedagógica das peças de xadrez humanas para nos ensinar sobre as árvores genealógicas da evolução: eles organizaram o salão de exposições como um tronco central que se desmembra numa série de galhos. Com isso colocamos nossos cérebros nos pés, por assim dizer, e vamos aprendendo enquanto caminhamos (GOULD, 1997, p. 306).

Segundo o autor, a organização dos salões de mamíferos contraria a imagem que temos da evolução e da vida, o que, segundo ele, ilustra o papel que os gráficos, figuras, ícones e outras formas de representação visual têm na contenção e no direcionamento dos nossos pensamentos. Gould ainda destaca que,

O poder das figuras, como síntese ou sinopse de conceitos fundamentais da nossa cultura, poderá ser mais bem apreciado se examinarmos o que eu gosto de chamar de “ícones-canônicos”, ou imagens-padrão, que automaticamente provocam uma série de associações ligadas a uma teoria ou instituição importante em nossas vidas (GOULD, 1997, p. 306).

Ao longo do ensaio, Gould remete os leitores a refletirem sobre como esses ícones visuais podem atrapalhar o desenvolvimento da construção de um pensamento evolutivo, já que sabe-se que a evolução não é direcional (contingências e acaso), ou seja, não se pode prever quais rumos ela irá tomar. Este pensamento talvez cause certo desconforto para alguns cientistas, já que o ser humano quer saber a origem e o destino de tudo, e quer ter resposta para todas as questões e a evolução não se enquadra neste querer. O autor aponta que os vários ícones canônicos em torno da evolução, seguem a ideia central de avanço, progresso, aperfeiçoamento e que, portanto, é necessária a busca por um novo ícone que corrija esta distorção. Gould discorre ainda sobre algumas críticas em torno da cladística, que é uma escola de classificação biológica baseada nas relações de parentesco entre os seres vivos. Argumenta que esta nova forma de enxergar a classificação dos seres vivos pode representar um novo ícone com as mesmas distorções, porque alguns fenômenos da evolução são ignorados como, por exemplo, “os traços exclusivos desenvolvidos numa única linhagem e as tendências grupais que não levam a outras ramificações” (GOULD, 1997). Este ensaio tem como principal assunto a iconografia. O professor pode utilizá-lo para instigar o aluno a pensar sobre as questões e as críticas

levantadas pelo autor, além de introduzir o tema da sistemática filogenética em sala de aula, pois, vários livros didáticos de biologia já apresentam cladogramas para ilustrar as relações de parentesco entre os seres vivos. É interessante que os alunos discutam e entendam os pontos positivos e negativos desta nova proposta de classificação dos seres vivos.

Ao publicar o livro “A Falsa Medida do Homem”, Gould se posiciona de forma convicta ao criticar o determinismo genético e alerta para o perigo de pensarmos a evolução como determinista de características superiores e inferiores entre os seres vivos. Como um cientista que não idolatra a ciência, mas sim a respeita e a vive em seu dia a dia, nutrindo sua curiosidade e se utilizando do conhecimento como ferramenta para educar e humanizar na luta contra a pseudociência. No pequeno livro de escrita simples e direta, Gould faz uma revisão literária sobre os testes de QI e a subjetividade dos critérios que definem quem é mais ou menos inteligente, além de deixar claro que a ciência não é neutra e também é uma atividade social, já que é feita por seres humanos.

A forma como Stephen Jay Gould ensinou sobre a evolução da vida a milhares de leitores do mundo inteiro o fez ocupar o posto de um dos maiores divulgadores da ciência do século XX. Esta fama se deu devido à repercussão mundial de seus ensaios, já que, na vida pessoal, não gostava de dar entrevistas e nem de ser visto sendo considerado antissocial pela mídia. Um escritor, cientista, professor de biologia, mas acima de tudo, um homem que escreveu sua visão do mundo tendo, assim, mudado a visão de muitas outras pessoas.

BIBLIOGRAFIA

- DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. 1. ed. Itatiaia; São Paulo, 1985. 382 p.
- DAWKINS, R. **O Gene Egoísta**. Companhia das Letras: São Paulo, 1976. 224 p.
- The Unofficial Stephen Jay Gould Archive. Disponível em: <<http://www.stephenjaygould.org/original>>. Acesso em: 19 jul. 2016.
- Super Interessante. **Biólogo Stephen Jay Gould: O detetive da evolução**. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ciencia/biologo-stephen-jay-gould-o-detetive-da-evolucao>>. Acesso em: 19 jul. 2016.
- GOULD, S. J. **A Falsa Medida do Homem**. 3. ed. Martins Fontes: São Paulo, 2014. 384 p.
- GOULD, S. J.; **Dedo Mindinho e seus Vizinhos** – Ensaios de História Natural. Companhia das Letras: São Paulo, 1993. 496 p.
- GOULD, S. J.; **Darwin e os Grandes Enigmas da Vida** – Coleção Ciência Aberta. Martins Fontes: São Paulo, 1992. 274 p.
- GOULD, S. J. **Dinossauro no Palheiro** – Reflexões sobre História Natural. Companhia das Letras: São Paulo, 1997. 568 p.
- GOULD, S. J. **O Polegar do Panda** – Reflexões sobre História Natural. Martins Fontes: São Paulo, 1989. 298 p.
- GOULD, S. J. **Os três aspectos da Evolução**. In: BROCKMAN, J. & MATSON, K. **As coisas são Assim**: pequeno repertório científico do mundo que nos cerca. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.
- GOULD, S. J.; LEWONTIN, R. C. The Spondyls of San Marco and the Panglossian Paradigm: a critique of the adaptationist programme, **Royal Society of London, series B**, v. 205, n. 1161, p. 581-598, 1979.
- PIAGET, J. **A Epistemologia Genética**. Rio de Janeiro: Ed. Vozes, 1971. 123 p.

CAPÍTULO IV - MUTAÇÕES - O ESSENCIAL À EVOLUÇÃO É INVISÍVEL AOS OLHOS

Juliana Cordeiro¹

TODA MUTAÇÃO É MALÉFICA? DEPENDE...

Normalmente, quando um casal está prestes a ganhar um filho, eles imaginam como seu filho será baseado na mistura das características que eles conhecem: “Ele vai ter os olhos do pai, o nariz da mãe”. Essas características são chamadas de fenótipos, que são a expressão dos genes em proteínas. As proteínas, por sua vez, são “construídas” de acordo com a combinação de cada um dos genes que herdamos dos nossos pais (recebidos por meio dos cromossomos homólogos), que, por sua vez, possuem a combinação dos genes dos nossos quatro avós, que, por sua vez, possuem a combinação dos nossos oito bisavôs, e assim por diante. Em cada cromossomo existem vários genes. Estes genes, que estão dispostos lado a lado, possuem alelos. Os alelos são variações gênicas, ou seja, variações nucleotídicas, de um mesmo gene. Portanto, todos os indivíduos de espécies que possuem cruzamento sexuado apresentam, pelo menos, dois alelos que, por sua vez, irão formar as proteínas, ou seja, o fenótipo.

Aquelas novas combinações de alelos, que todos os indivíduos carregam em seu genoma, fornecem diferentes características. Por exemplo, podem resultar na possibilidade de responder, de forma diferente de seus pais, a antibióticos, a novas infecções (gripe, rubéola...), a alergias, etc., podendo o indivíduo ser mais ou menos resistente. A evolução é um evento populacional cujos mecanismos evolutivos atuam justamente sobre o fenótipo fornecido por essas combinações alélicas. Esses mecanismos podem atuar de forma aleatória (deriva genética) ou de forma seletiva (seleção natural) sobre a combinação de alelos. Esses alelos são originados por mutações gênicas (alterações na sequência nucleotídica do DNA). Diferentes eventos podem resultar em uma mutação gênica. Por exemplo, a DNA polimerase, enzima que copia a molécula de DNA em moléculas novas, possui a capacidade de trocar de nucleotídeos ao copiar o DNA, apresentando o que chamamos de taxa de substituição nucleotídica, ou taxa de mutação. Por exemplo, para mamíferos, a taxa média de mutações por sítio é de cerca de 3×10^{-9} a 5×10^{-9} mutações por nucleotídeo por ano, ou seja, para que apenas um nucleotídeo sofra mutação deve levar 10 milhões de anos. Considerando que o genoma humano tem em torno de 3 bilhões nucleotídeos, em um ano deve ocorrer aproximadamente 9 mil mutações; porém, estima-se que apenas 20 mutações devam realmente ocorrer devido à eficiência das enzimas do sistema de reparo do DNA. Outras formas de geração de mutação estão relacionadas à exposição à radiação ultravioleta (UV) ou agentes mutagênicos, como aflatoxina (substância produzida por alguns fungos encontrados em produtos agrícolas estocados), benzidina (encontrado em corantes usados na tintura para couro, papéis e tecidos), fumaça do cigarro (composto por benzeno, formol, e alguns metais já comprovados por causarem cânceres) entre outras substâncias mutagênicas.

Mas vamos voltar aos alelos... Depois de serem gerados por mutação (diz-se que é uma mutação *de novo*, portanto não foi herdada), alguns alelos podem ser prejudiciais, dificultando a sobrevivência do indivíduo. Temos, como exemplo disso, uma mutação pontual (uma troca de apenas um nucleotídeo) que ocorre na proteína beta-globina. A

¹Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas.

beta-globina é uma das proteínas que formam a hemoglobina, responsável por carregar o oxigênio e gás carbônico dentro das hemácias do sangue, proporcionando as trocas gasosas. O gene da beta-globina da maioria dos humanos apresenta o nucleotídeo adenina (A) na 19ª posição do gene. Uma pequena parcela da população humana possui o nucleotídeo timina (T) nesta mesma posição. A presença deste outro nucleotídeo faz com que a hemoglobina apresente um aminoácido diferente da forma mais frequente da proteína (valina ao invés de ácido glutâmico). Isto faz com que as hemoglobinas presentes dentro da hemácia, na ausência de oxigênio, se agrupem, deixando a hemácia em formato de foice (desta forma, chamada de falciforme), ao invés de arredondada. Esta modificação do formato da hemácia proporciona rompimento dos capilares, provocando hematomas. Um outro problema da célula falciforme está relacionado com o tempo de vida da hemácia. A hemácia falciforme tem metade do tempo de vida da célula normal, baixando drasticamente o número de hemácias no sangue, sem que haja uma reposição imediata, resultando em anemia hemolítica (por romper as hemácias), além de liberar componentes tóxicos às células no plasma sanguíneo. Esta condição é conhecida por anemia falciforme, onde os portadores apresentam vários outros sintomas graves, podendo levar ao óbito.

Porém, os portadores heterozigotos (que possuem apenas um alelo para anemia falciforme), ou também chamados portadores com traço falcêmico, além de serem assintomáticos por não apresentarem os sintomas da doença (hematomas, anemia e dificuldade respiratória), apresentam uma vantagem de sobrevivência em regiões onde a malária é endêmica. Os heterozigotos apresentam apenas uma porção das hemácias no formato falciforme, resultando em sintomas muito leves da doença, praticamente inexistentes. Uma outra vantagem é que o parasito que causa a malária, *Plasmodium* sp., não sobrevive ao ambiente tóxico do plasma provocado pela liberação dos componentes citotóxicos pelas células falciformes, ou seja, não consegue infectar o portador do traço falcêmico. Desta forma, o indivíduo heterozigoto é capaz de realizar as trocas gasosas, e também é imune às infecções pelo parasito, se tornando resistente à malária. A frequência do alelo falciforme em regiões com incidência de malária é alta, chegando a 40% na África equatorial. Apresentar o traço falcêmico em regiões com incidência de malária é vantajoso, e está diretamente relacionado com o aumento da sobrevivência dos indivíduos, e isto representa a atuação da seleção natural, aumentando a frequência do alelo da beta-globina mutado nessas regiões.

A mutação da anemia falciforme pode ser encontrada hoje em cinco haplótipos diferentes, ou seja, combinações diferentes de alelos que são herdados juntos. Isto indica que houve pelo menos cinco eventos de mutação do gene da beta-globina. Estes eventos ocorreram na África e no Oriente Médio. No Brasil, a frequência do alelo falciforme é de 4% (variando entre 2% a 8% dependendo da região analisada), e a maior frequência está entre os afrodescendentes, de 6% a 10%. A presença deste alelo no Brasil está diretamente relacionada com a imigração dos povos africanos e europeus, e o aumento da frequência está relacionado com a miscigenação. O exemplo da anemia falciforme mostra como uma mutação pode alterar a sobrevivência do indivíduo dependendo das condições ambientais onde se encontra.

A hemocromatose hereditária é outra doença genética que apresenta sobrevivência diferenciada aos portadores heterozigotos. Os homozigotos para a hemocromatose (que possuem os dois alelos mutados) apresentam uma alta capacidade de absorver ferro, podendo causar danos múltiplos aos órgãos e levar à morte. Os heterozigotos, por sua vez, são assintomáticos. No passado, a anemia por carência de ferro era um problema grave, e os heterozigotos ficavam protegidos por absorverem melhor o ferro do que os indivíduos que não possuem o alelo da hemocromatose. Desta forma, com o passar das gerações, houve um aumento da frequência do alelo da hemocromatose em heterozigose por apresentar uma melhor sobrevivência dos portadores. Hoje, vários alimentos possuem adição de ferro como medida

corretiva de anemias ferro-sensíveis, por exemplo, a farinha de trigo. Isso faz com que os heterozigotos precisem de uma atenção médica maior, pois podem passar a apresentar os sintomas da doença devido à absorção excessiva de ferro.

Uma outra condição genética, que não chega a ser uma doença, é a intolerância à lactose (que é uma condição muito diferente da alergia às proteínas do leite). Nunca houve alguém que morreu por ser intolerante à lactose, mas as pessoas com essa condição passam por sérios problemas gastrintestinais quando ingerem leite e seus derivados. Hoje existem vários níveis de intolerância à lactose, e também existe a alergia às proteínas do leite, e essa sim pode levar à morte por choque anafilático. Todas essas condições são causadas por mutações. Mas vamos nos ater à intolerância à lactose por falta da enzima que degrada este açúcar. A lactose é um açúcar contido no leite que é degradado em glicose e galactose pela enzima lactase. É raríssima a existência de espécies que produzem a enzima lactase após o desmame (sendo que o consumo de leite não é mais importante após esse período), com exceção de nós humanos. Apenas 35% dos humanos conseguem digerir a lactose após os sete ou oito anos, o que não é o normal para a maioria dos mamíferos. Esta condição é chamada persistência da lactase. Portanto, é correto afirmar que 35% da população humana possui uma mutação que faz com que a lactase continue sendo expressada após o desmame. E, na realidade, a intolerância à lactose seria a condição natural dos nossos antepassados adultos.

A persistência da produção da enzima lactase está relacionada com polimorfismo de nucleotídeo único (*single nucleotide polymorphism* – SNP), que nada mais é do que uma mutação de troca de nucleotídeo. Existem diferentes alelos que resultam na expressão permanente do gene da lactase, cada um com um nucleotídeo trocado em posições diferentes. Estes SNPs (pronuncia-se *snips*) apresentam uma alta frequência no norte da Europa, norte da África e no Oriente Médio. O alelo mais comum no norte da Europa parece ter sido originado há 7.500, onde hoje é a Hungria. Uma vez que o alelo de permanência da lactase surgiu, ele trouxe vantagens adaptativas para quem o possuía, permitindo consumir leite na vida adulta como fonte de proteína sem ter problemas gastrintestinais.

No período Paleolítico, nossos ancestrais eram basicamente coletores-caçadores. Isso exigia que os agrupamentos humanos se deslocassem em busca de comida. Com o passar do tempo, e com a invenção de metodologias de agropecuária, nossos antepassados puderam fixar moradias próximas dos locais de cultivo e criação de animais. Isso aconteceu por volta de 10.500 anos atrás, no início do período Neolítico, quando se tem notícia das primeiras domesticações de animais. A capacidade de consumir leite teve consequências muito maiores do que somente o fato de não ter problemas gastrintestinais. No período Neolítico, poder ingerir leite significava a possibilidade de um acréscimo do tempo de vida, pois os indivíduos não precisavam arriscar-se em busca de comida. O leite, e seus derivados, possuem proteínas cujo consumo é aconselhado aos vegetarianos. Pesquisadores estimaram que as pessoas que possuíam a mutação de persistência da enzima lactase no Neolítico, teriam produzido até 19% de prole mais fértil do que os indivíduos que não apresentavam a mutação. Isto significa dizer que, naquele período, ter a mutação que mantinha a enzima lactase ativa na idade adulta era seletivamente vantajosa, aumentando a sobrevivência e a capacidade de deixar prole fértil.

Até agora vimos exemplos de mutações que em heterozigose trazem vantagem de sobrevivência ao indivíduo, fazendo com que seu valor adaptativo (ou *fitness*, capacidade de sobreviver e deixar um número maior de prole fértil para a próxima geração) aumente diante dos demais indivíduos da população que não apresentam tais alelos. Mas será que a ausência total de um gene, ou seja, os dois alelos não funcionais, poderia ser vantajoso?

A vantagem em ser portador de uma mutação está diretamente relacionada com as demandas do ambiente no qual o indivíduo se encontra. Este é o caso dos genes que produzem a hemoglobina em um grupo de peixes que vivem

nas águas frias da Antártida, as espécies da família Channichthyidae, popularmente conhecidas como peixes-crocodilo-do-gelo (*crocodile icefish*). A hemoglobina, como já vimos, é a proteína responsável pelo transporte de oxigênio no sistema sanguíneo, essencial a todos os vertebrados. Na maioria dos vertebrados adultos, ela é composta por quatro moléculas de proteínas, duas moléculas produzidas pelo gene alfa-globina e duas pelo gene beta-globina.

A família Channichthyidae faz parte da subordem Notothenioidei de peixes endêmicos dos ambientes mais frios da Antártida, que ao mesmo tempo é termicamente o mais estável. A maioria dos peixes nototenoides vivem em águas com temperatura entre -2 e 4°C. Porém, apenas as espécies da família Channichthyidae não possuem hemoglobinas, e, conseqüentemente, possuem o sangue transparente. Algumas poucas espécies desta família ainda produzem hemácias, porém elas não são funcionais. Este grupo de peixes é a única exceção de vertebrados que não possuem hemoglobinas, proteínas consideradas extremamente vitais para o transporte de O₂ e CO₂. De acordo com essas observações, ficam duas perguntas: como elas realizam as trocas gasosas? e por que essas espécies não possuem hemoglobina?

Os peixes-crocodilo-do-gelo podem viver sem hemoglobina por causa de suas baixas taxas metabólicas e a alta solubilidade de oxigênio no ambiente (a solubilidade do oxigênio aumenta quanto menor for a temperatura). No entanto, a capacidade de transporte de oxigênio dessas espécies é menor que 10% em relação aos seus parentes com hemoglobina. Para compensar a perda de hemoglobina, os peixes-crocodilo-do-gelo possuem um sistema circulatório com maior capacidade de vasão sanguínea (vasos sanguíneos de maior calibre, volumes maiores de sangue transportado, corações maiores...) em comparação com outros peixes. Todo esse sistema (associado à baixa viscosidade do sangue por não conter hemácias) é especializado em fazer circular uma taxa muito alta de fluxo sanguíneo em ambientes com baixíssima pressão atmosférica, além de economizar energia celular por não produzir hemácias. O oxigênio é então absorvido nas brânquias e se distribui pelo corpo por esse sistema sanguíneo especializado.

A compreensão do porquê que estas espécies não possuíam hemoglobina só foi concluída comparando-se o genoma delas com espécies de peixes que possuíam sangue vermelho. A identificação dos eventos moleculares passados só é possível devido ao fato de as espécies atuais compartilharem ancestrais em comum, por meio de uma filogenia, ou seja, uma árvore evolutiva. Outra característica interessante, é que as mutações deixam “marcas” que guardam pistas sobre o passado evolutivo de seus ancestrais. E o mais importante: existem técnicas científicas que permitem o estudo dessas marcas moleculares. Para isso, basta analisar os “restos de genes”, ou seja, os pseudogenes que persistem no genoma dos representantes vivos de um grupo de espécies aparentadas. Pseudogenes são genes que perderam a função (ou seja, não produzem proteína) por acumulação de mutações, que podem ser do tipo troca de nucleotídeos, mas geralmente são deleções ou inserções de nucleotídeos. A ausência de funções dos pseudogenes não causa impacto no valor adaptativo dos indivíduos, tornando os pseudogenes neutros à seleção natural.

Ao comparar os genomas entre os Notothenioidei, os pesquisadores verificaram que no genoma dos peixes-crocodilo-do-gelo havia cópias não funcionais similares ao da alfa-globina. Porém, os genes da beta-globina já não podiam mais ser reconhecidos. Ao longo das gerações, o gene da beta-globina acumulou tantas mutações que a sequência nucleotídica não apresentava nenhuma similaridade com qualquer outro gene. Desta forma, os pseudogenes funcionam como fósseis genéticos; e neste caso, permitiu identificar que ao longo da evolução dos peixes da subordem Notothenioidei houve a perda da capacidade de produzir a hemoglobina, devido a deleções nos genes alfa- e beta-globina.

Vários estudos já verificaram que as sequências de DNA sofrem mutações, ou seja, evoluem, a taxas aproximadamente constantes. Isso quer dizer que é possível estimar o tempo de ocorrência de uma mutação sabendo-se o tempo

que duas espécies atuais levaram para se diferenciarem (tempo de divergência) e a taxa de mutação na qual o gene em questão evoluiu. Em uma comparação entre duas espécies, quanto mais distantes elas são, na árvore evolutiva, mais tempo elas tiveram para acumular mutações em um gene específico. Os pesquisadores compararam, então, a filogenia, ou seja, a história evolutiva das espécies de peixes da subordem Notothenioidei com a filogenia dos genes da alfa- e beta-globina. Com isso, conseguiram estimar o tempo em que esses eventos mutacionais devem ter ocorrido. Quando compararam com os registros geológicos, observaram que o processo de mutação deve ter ocorrido após a separação do continente Antártida da América do Sul (na fragmentação do supercontinente chamado Gondwana). A separação dos continentes ocorreu por meio da movimentação das placas tectônicas (as mesmas placas que hoje, quando se deslocam, causam terremotos e maremotos) que ao longo dos milhões de anos, provocam o deslocamento dos continentes. No início do deslocamento dos continentes Antártida e América do Sul, houve uma mudança nos padrões de correntes marítimas e, conseqüentemente, alterações climáticas, fazendo com que a Antártida e as águas ao redor atingissem temperaturas tão baixas quanto as de hoje. O movimento das placas tectônicas é um movimento bastante lento, e o tempo que levou esses dois continentes se separarem até a posição que conhecemos hoje (aproximadamente 35 milhões de anos) foi tempo suficiente para mutações surgirem; algumas diminuíram o valor adaptativo, e outras nem tanto assim. E, dessa forma, as espécies que conseguiram ocupar as águas frias da Antártida evitavam a competição por alimentos. A alta concentração de oxigênio dissolvido em águas frias diminui a pressão seletiva, ou seja, diminui o favorecimento da existência de sistemas branquiais e circulatórios para captação e distribuição do oxigênio. Por outro lado, a baixa temperatura aumenta a viscosidade dos fluidos tornando o bombeamento do sangue algo bastante custoso. Desta forma, houve um aumento da pressão seletiva sobre a diminuição da viscosidade do sangue, diminuindo, e até perdendo completamente, a produção de hemácias.

Esta ideia é apoiada pela observação de que os demais peixes da subordem Notothenioidei possuem uma concentração baixa de hemácias no sangue (por volta de 11%) quando comparados com peixes de águas mais quentes (45%). Portanto, as espécies da família Channichthyidae seriam um exemplo extremo da tendência evolutiva de diminuição da viscosidade do sangue, tendo uma concentração de hemácias menor que 1%.

MUTAÇÕES TAMBÉM PODEM GERAR NOVOS GENES

Talvez, mais interessante que a perda das hemácias pelos peixes da Antártida, seja a existência de uma proteína exclusiva desses peixes que permite a permanência em ambientes congelantes, inibindo a formação de cristais de gelo nos fluidos corporais. A evolução de glicoproteínas anticongelantes neste grupo de animais é uma das mais fantásticas adaptações moleculares que conhecemos, e serve de exemplo para o “jogo de montagem” que caracteriza a evolução biológica.

As mutações podem alterar genes que já existem fazendo com que eles funcionem de forma diferente. Como vimos: gene da beta-globina, que na forma mutada heterozigota fornece resistência à malária; gene da hemocromatose, que na forma mutada aumenta a captura de ferro e o heterozigoto pode se beneficiar disso em absorver facilmente o ferro disponível na alimentação, evitando a anemia; e o gene da enzima lactase, que quando mutado leva à expressão contínua da enzima ainda na idade adulta, permitindo que o leite faça parte da alimentação até para os adultos. As mutações podem bloquear a atividade de genes cujos produtos não são mais necessários, evitando o gasto energético desnecessário, como no caso da ausência de globinas, e até hemácias, em peixes-do-gelo. A seguir veremos como um

gene já existente na maioria das espécies pode ser mutado e gerar um gene com função completamente nova. Este é o caso do gene que produz a proteína anticongelante nos peixes-do-gelo.

As proteínas anticongelantes, conhecidas como AFGP (*antifreeze glycoproteins* - glicoproteínas anticongelantes), foram encontradas nos tecidos e corrente sanguínea dos peixes pertencentes à subordem Notothenioidei. Essas proteínas são compostas por repetições de sequências específicas de aminoácidos que permitem que se liguem à cristais de gelo. A ligação dessas proteínas aos cristais em formação faz com que a temperatura necessária para a formação desses cristais diminua para -2°C (valor abaixo da temperatura mínima do oceano antártico e, aproximadamente, um grau a menos do ponto de congelamento do plasma dos peixes que não possuem AFGP). Essa aparente pequena diferença teve consequências ecológicas gigantescas, fazendo com que esses peixes conseguissem dominar as águas da Antártida.

O gene AFGP contém “marcas de nascença”. Essas marcas são sequências nucleotídicas em ambas as extremidades que são idênticas às do tripsinogênio. O tripsinogênio é um gene encontrado em todos os vertebrados, e a enzima codificada por ele está envolvida com a quebra de proteínas ingeridas. Em uma espécie de Notothenioidei, a sequência codificante do gene AFGP está exatamente ao lado da sequência codificante do gene do tripsinogênio, sendo um exemplo de gene quimera (um gene que é a mistura de dois genes). O gene AFGP surgiu de uma duplicação da porção inicial do gene do tripsinogênio que posteriormente teve uma pequena parte duplicada 41 vezes. São justamente essas repetições que codificam a porção na proteína que se liga aos cristais de gelo. Suspeita-se que a primeira versão do gene AFGP teve como função inicial impedir o congelamento dos fluidos intestinais (local onde o tripsinogênio originalmente atua), sendo que essa função foi expandida mais tarde para o sistema circulatório. Uma outra evidência que deixa esse sistema evolutivo bastante interessante é o fato de que a proteína AFGP é produzida no pâncreas, como sua proteína “irmã” tripsinogênio, ao invés do fígado, como as demais proteínas anticongelantes. Após produzida, ela é transportada para a circulação sanguínea.

A estrutura de repetições de aminoácidos da proteína anticongelante encontrada nos peixes-do-gelo da Antártida também é encontrada nas proteínas anticongelantes de certas espécies de bacalhau do Ártico. Isto mostra a importância dessas regiões proteicas na ligação aos cristais de gelo. Porém, quando as proximidades do gene AFGP dos peixes do Ártico são analisadas, não é encontrado evidência de uma origem a partir do gene do tripsinogênio. Em outras palavras, os peixes do Ártico e da Antártida adaptaram-se às baixas temperaturas de forma independente, por meio de evolução convergente. A evolução convergente é o resultado de diferentes mecanismos evolutivos (mutação, recombinação, deriva genética, seleção natural) atuando em diferentes estruturas (neste caso, diferentes genes), porém gerando uma mesma função. Como nas aves e nos morcegos, que possuem asas e ambos voam, a origem evolutiva dessas estruturas, as asas, ocorreu por evolução convergente. Ou seja, em momentos distintos, essas estruturas evoluíram por mecanismos completamente diferentes, porém hoje possuem a mesma função. Por meio de diferentes mutações em diferentes genes, os ancestrais desses dois grupos de peixes possuem a mesma sequência nucleotídica, resultando na mesma sequência de aminoácidos que compõe a porção funcional das proteínas anticongelantes.

VARIABILIDADE NA POPULAÇÃO - MUTAÇÕES ADAPTATIVAS, MUTAÇÕES NEUTRAS E SELEÇÃO NATURAL

A partir da década de 1980, o desenvolvimento de diversas técnicas permitiu acessar a variabilidade de sequência de nucleotídeos do material genético. Hoje, existem metodologias e tecnologias que permitem analisar genomas

inteiros. Além disso, já é possível realizar a análise de uma enorme quantidade de dados por meio da bioinformática. Devido a todo esse desenvolvimento tecnológico, os pesquisadores conseguiram analisar os genes dos exemplos aqui comentados (gene da alfa- e beta-globina, lactase, hemocromatose e proteína anticongelante) em diferentes organismos, comparando um número grande de indivíduos.

Nos exemplos citados, podemos ver que as novidades fenotípicas, ou seja, as características desenvolvidas pelos organismos, surgiram devido às mutações em genes já existentes. A taxa de mutação em genes que codificam proteínas é altamente variável, podendo ser de praticamente zero para o gene da actina (proteína essencial para a contração celular) a até $3,1 \times 10^{-9}$ mutações por nucleotídeo por ano para o gene do interferon (proteína que atua no sistema imune de vertebrados). Esta variação na taxa de mutação está relacionada com a interação de fatores/características que atuam de forma a impor limites (fortes ou fracos) à produção de novas variantes fenotípicas, que são chamados de restrição evolutiva.

Por outro lado, o valor adaptativo de uma mutação é basicamente o que define se a mutação persistirá ao longo das gerações ou não. Este valor está diretamente relacionado com as demandas do ambiente na qual o indivíduo se encontra. Por exemplo, com o aquecimento global, a Antártida tem diminuído de tamanho por meio do derretimento do gelo. Uma das consequências é o aquecimento das águas com diminuição da solubilidade de oxigênio. Se o aquecimento ocorrer em uma taxa mais rápida que a taxa de mutação dos genes, é possível que todas as espécies de peixes-crocodilo-do-gelo desapareçam devido à dificuldade em capturar oxigênio, interferindo diretamente na respiração. Isto ocorreria porque haveria pouquíssimo tempo para que houvessem mutações que resultassem em um novo mecanismo de captura e transporte de oxigênio nesses indivíduos.

Porém, se considerarmos a taxa média de mutação no genoma de mamíferos acima mencionada, podemos concluir que as mutações não são eventos muito raros. Por exemplo, considerando um genoma de 3 bilhões de nucleotídeos (uma aproximação para humanos), haveriam uma média de 12 trocas de nucleotídeos por ano no genoma de um indivíduo. Considerando que o tempo de vida médio dos humanos é de 70 anos, ao longo da vida ele teria acumulado 840 trocas de nucleotídeos, distribuídas nos 3 bilhões de nucleotídeos. Desta forma, podemos notar que a taxa de substituições de nucleotídeos em um genoma é bastante alta. Porém, não é frequente encontrarmos indivíduos com novas alterações gênicas que levam à mudança no valor adaptativo. Estas estimativas citadas levam em conta todos os tipos de substituições de nucleotídeos, possuindo ou não algum valor para a seleção natural (positivo, negativo ou neutro), ocorrendo ou não em regiões codificadoras ou não codificadoras. Isso nos leva a concluir que existem substituições nucleotídicas que não fazem diferença para seleção natural. Essas são as chamadas mutações neutras.

A evolução das espécies ao longo das gerações ocorre por meio dos mecanismos de: geração de mutação, recombinação gênica (ou *crossing over*), migração dos indivíduos entre populações, seleção natural das características e deriva genética (ou variação aleatória dos genes ao longo das gerações). Os eventos de geração de mutação são os únicos eventos no qual novas variabilidades gênicas podem surgir. A recombinação apenas reorganiza os alelos (paterno e materno) de uma geração à outra nos organismos sexuados. Se não houvesse mutações haveria uma quantidade limitada de combinações possíveis entre os alelos já disponíveis. A consequência seria uma tendência dos organismos de uma dada população serem completamente iguais.

A seleção natural, por sua vez, atua sobre as variabilidades gênicas existentes, selecionando positivamente ou negativamente conforme os requisitos do ambiente. Desta forma, uma mutação pode apresentar um valor adapta-

tivo maior, menor ou nenhum (no caso das mutações neutras). Por exemplo, a mutação que levou à hemocromatose (cujos portadores apresentam alta capacidade de absorver o ferro) apresentava um alto valor adaptativo no passado, quando os alimentos não apresentavam suplementação de ferro, visando evitar a anemia. Com isso, os portadores da mutação apresentavam uma capacidade diferenciada em sobreviver, e uma chance maior de produzir prole fértil, ou seja, apresentavam um *fitness* maior. Hoje, considerando que a maioria dos alimentos possui suplementação de ferro, ser portador do alelo da hemocromatose reduz a capacidade de sobrevivência, aumentando o depósito de ferro nos tecidos, potencialmente resultando em danos múltiplos aos órgãos e levando o portador à morte.

Neste ponto, podemos fazer uma ressalva: é notável que no caso de doenças humanas o avanço da medicina e da pesquisa básica em técnicas de biologia molecular, tem sido importante na manutenção dos alelos que causam doenças ou alguma condição que não seja adaptativa. Por exemplo, várias doenças genéticas que afetam o sistema neuromotor reduzem a adaptabilidade do indivíduo já na adolescência (distrofias musculares, ataxias espinocerebelares, esclerose lateral amiotrófica...). Porém, com tratamento médico adequado (fisioterapia, suplementação alimentar) esses pacientes podem sobreviver e procriar, passando seus genes adiante. É possível que a medicina, e os tratamentos médicos, tenham como consequência o aumento da frequência de alelos deletérios na população humana. Em outras palavras, a medicina atualmente salva esses fenótipos, que de outra forma, provavelmente, seriam excluídos da população pelo processo da seleção natural.

Um outro exemplo de valor adaptativo dependente das condições ambientais é a persistência da lactase. Atualmente, nos humanos essa condição é a considerada mais comum, sendo a intolerância à lactose (comum nos demais mamíferos) menos frequente e tratada como uma doença. No passado, essa mutação, que mantém a produção da lactase, permitiu a sobrevivência de muitos povoados num tempo em que a disponibilidade de leite se tornou bastante comum, enriquecendo o consumo de proteínas. Hoje, a fácil aquisição de diferentes produtos muito mais ricos em proteína que o leite é enorme fazendo com que o seu consumo não seja essencial à sobrevivência humana.

A consequência adaptativa de certas mutações pode ser demonstrada pela evolução da cor da pelagem em uma espécie de roedor, chamados de *rock pocket mice* (*Chaetodipus intermedius*). Estes roedores vivem em uma região árida, coberta por plantas arbustivas e cactáceas na região sudoeste dos EUA e no norte do México. O solo desta região é arenoso, repleto de afloramentos rochosos. A pelagem destes roedores é da cor marrom clara, consistente com a cor do ambiente onde vivem. Eles fazem pequenas tocas no solo para escapar dos seus predadores (corujas, raposas, falcões, cobras), sendo, a maioria deles, predadores visuais.

Algumas populações dessas espécies possuem a pelagem escura, e são encontradas vivendo em meio às manchas de rochas basálticas (de cor marrom escuro), resultado de erupções vulcânicas que ocorreram há mil anos. As duas diferentes cores de pelagem na região dorsal, relacionadas com a cor do ambiente onde os indivíduos vivem, proporciona uma proteção aos pequenos roedores de serem vistos pelos seus predadores, servindo como uma ótima camuflagem. Neste exemplo, vemos que a consequente predação dos roedores facilmente visualizados, devido ao contraste com a cor do ambiente, está atuando como pressão seletiva, e poderíamos chamar de seleção natural guiada pelos predadores.

A cor de pelos é controlada por um número grande de genes. Em 2003, um grupo de cientistas analisou as diferenças no DNA entre um grupo de roedores de pelagem clara e outro de pelagem escura. O sequenciamento de DNA mostrou que a única diferença entre esses dois grupos de roedores está presente no gene que codifica a proteína receptora melanocortina-1 (*Mcl1r*). Esta proteína está envolvida com a produção de eumelanina, que é a proteína res-

ponsável pela cor castanha ou preta nos pelos. Todos os indivíduos claros desses roedores possuem a mesma sequência nucleotídica do gene *Mc1r*. Os pesquisadores testaram outra população escura, distribuída em afloramentos de rocha basáltica no norte do México. Nesta população, não foram encontradas evidências de que o gene *Mc1r* estaria envolvido com a geração da cor da pelagem. Isto indica que diferentes mutações podem ter o mesmo resultado. Além disso, também indica que as mutações que geraram o fenótipo escuro nas duas populações são mutações independentes e, portanto, ocorreram ao acaso. Entretanto, o processo de seleção natural que levou à alta frequência do fenótipo escuro foi o mesmo: seleção natural guiada por predação.

A evolução é a mudança dos fenótipos ao longo dos anos. Por exemplo, a população escura de roedores levou mil anos para se tornar bem adaptada ao ambiente de rochas escuras. Podemos considerar que, se os afloramentos de rochas vulcânicas persistirem por mil anos ou mais, essa mesma população pode passar a ter cruzamento preferencial, levando à origem de uma nova espécie de roedores. Portanto, a evolução pode ocorrer de forma rápida ou lenta, e a velocidade será definida pela combinação de mutações, valor adaptativo e seleção natural. Desta forma, os fenótipos que são gerados pelas mutações genéticas, e que serão vantajosos, podem aumentar em frequência em uma população de forma muito mais rápida, mesmo se a vantagem adaptativa proporcionada pela mutação for pequena em relação aos demais organismos. Por exemplo: vamos considerar que em uma população de 100 indivíduos dos roedores comentados acima surge uma mutação em um só indivíduo, e esta mutação aumenta seu valor adaptativo em 1% em relação aos demais indivíduos de pelagem clara (como no exemplo, uma mutação que deixa sua pelagem escura, aumentando a sobrevivência em um ambiente de rocha basáltica, fazendo com que este indivíduo não seja visto pelos predadores). A cada nova geração, os indivíduos que tiverem a mutação deixarão mais descendentes, carregando a mesma mutação, e essas proles deixarão mais prole, e assim por diante. Em mil anos, 95% da população não apresentará mais a pelagem clara. Resumindo: dependendo do valor adaptativo, uma mutação pode levar pouquíssimo tempo para se fixar (ser a mais frequente) no conjunto de genes (pool gênico) da população. Além disso, como mutações podem ocorrer ao acaso, diferentes mutações podem levar a um mesmo fenótipo de mesmo valor adaptativo.

Após analisarmos exemplos como os acima citados, temos alguns fatos e conceitos importantes, que devem ser compreendidos a fim de entender como a evolução das espécies ocorre, e a importância das mutações. Em primeiro lugar, é fato que toda mutação é uma mudança que ocorre ao acaso na sequência de DNA de um organismo/indivíduo. Em segundo lugar, o ambiente sempre determinará se a mutação gerada será vantajosa, deletéria ou neutra, por meio do valor adaptativo. Em terceiro lugar, o tempo evolutivo não se conta em anos, mas em milhares, milhões e bilhões de anos. Em quarto lugar, enquanto mutações sempre ocorrem ao acaso, a seleção natural não ocorre ao acaso, selecionando as mutações de maior valor adaptativo em cada geração, de acordo com o ambiente e suas mudanças. E estes fatos resultam na mudança dos fenótipos ao longo dos milhares de anos.

Portanto, enquanto a geração de mutações (vantajosas, deletérias ou neutras) é um evento que ocorre ao acaso, a seleção natural é um processo que trabalha com as mutações evolutivamente vantajosas ou não vantajosas, onde ser vantajoso está relacionado com sobreviver e deixar mais descendentes férteis. O maestro de todo o processo evolutivo é o ambiente, representadas pelas relações ecológicas existentes (predação, competição, parasitismo...) e as características abióticas locais. Neste sentido, as mutações passam a ser visíveis aos olhos da evolução, tanto quando proporcionam vantagem ao indivíduo como quando refletem em desvantagem.

BIBLIOGRAFIA

CARROLL, S. B. **The Making of the Fittest: DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution.** New York: W. W. Norton & Company, 2006. 288 p.

CHENG, C. H.; CHEN, L. Evolution of an antifreeze glycoprotein. **Nature**, v. 401, n. 6752, p. 443-444, 1999.

CURRY, A. Archeology: The milk revolution. **Nature**, v. 500, n. 7460, p. 20-22, 2013.

DRAYNA, D. Mutações fundadoras. **Scientific America Brasil**, v. 42, p. 60-67, 2005.

GRAUR, D.; LI, W-H. **Fundamentals of molecular evolution.** 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2000. 439 p.

LEONARDI, M. et al. The evolution of lactase persistence in Europe. A synthesis of archaeological and genetic evidence. **International Dairy Journal**, v. 22, p. 88-97, 2012.

LOGSDON, J.; DOOLITTLE, W. F. Origin of antifreeze protein genes: a cool tale in molecular evolution. **Proceedings of Nacional Academy of Science**, v. 94, p. 3485-3487, 1997.

NACHMAN, M. et al. The genetic basis of adaptive melanism in pocket mice. **Proceedings of Nacional Academy of Science**, v. 100, n. 9, p. 5268-5273, 2003.

SWALLOW, D. M. Genetics of lactase persistence and lactose intolerance. **Annual Reviews of Genetics**, v. 37, p. 197-219, 2003.

TISHKOFF, S. A. et al. Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe. **Nature Genetics**, v. 39, n. 1, p. 31-40, 2000.

CAPÍTULO V - MECANISMOS DE CONSTRUÇÃO E EVOLUÇÃO DAS FORMAS ANIMAIS

Felipe Berti Valer¹

A inspiração para a escrita deste capítulo adveio da curiosidade que todos nós compartilhamos sobre como a diversidade de formas de vida foram e continuam sendo geradas. A ideia que venho expor reside basicamente no processo de formação dos animais, e como pequenas alterações nesse processo ao longo de milhões de anos esculpiram a diversidade de formas de vida que conhecemos hoje ou que estão representadas no registro fóssil. Trarei as principais contribuições da interação entre as áreas da genética e biologia evolutiva “pós-síntese moderna” com a biologia do desenvolvimento. Entre a principal delas está a descoberta de que todos os animais complexos, mesmo com grandes diferenças genéticas, fisiológicas ou morfológicas, compartilham de um “kit de ferramentas” de genes mestres responsáveis pela formação e diferenciação dos organismos. Neste sentido, pretendo apresentar evidências construídas com base na nova perspectiva da biologia evolutiva do desenvolvimento, ou apenas “evo-devo”, que eliminam qualquer opinião retórica antievolucionista sobre a necessidade de formas intermediárias ou a presença de um relojoeiro (criador) para o surgimento e modificação de estruturas complexas ao longo da evolução.

O ESTUDO DO EMBRIÃO E O NASCIMENTO DA BIOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO

Um dos maiores espetáculos da vida é a transformação de uma única célula ovo, ou zigoto, em um organismo multicelular complexo e organizado. O mistério do desenvolvimento embrionário e a busca pelo entendimento dos mecanismos pelos quais ele ocorre têm sido um dos problemas mais universais do pensamento biológico, e remonta há pelo menos três mil anos. Filósofos pré-socráticos se ocuparam extensivamente em entender como ocorriam os processos embriológicos básicos de gametogênese e fertilização, responsáveis pela formação do embrião. O primeiro registro escrito de pesquisa embriológica (do grego *embryon*, por nascer) é atribuído a Hipócrates entre o século V e IV a.C., como uma das primeiras tentativas de descrição e integração do conhecimento embriológico. Porém, foi Aristóteles durante o século IV a.C. que expandiu as observações hipocráticas do conhecimento embriológico através do estudo de embriões e fetos de diversas espécies de organismos, estabelecendo características universais sobre seu desenvolvimento.

O pensamento aristotélico, fortemente teleológico e de cunho qualitativo, perdurou pelos quase vinte séculos seguintes, até sua progressiva rejeição por parte do Renascimento científico. A secularização do conhecimento levou a uma retomada das investigações embriológicas criteriosas advindas do método científico. Nesse campo, assim como em tantos outros, Leonardo da Vinci foi um dos pioneiros em fazer observações extremamente detalhadas do desenvolvimento embrionário, ilustrada em suas belíssimas, embora nem sempre fidedignas, ilustrações.

No final do século XVI e nos dois séculos seguintes, a embriologia experimentou uma verdadeira revolução,

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, Universidade de São Paulo.

muito por causa da invenção do microscópio, que permitiu a observação *in vivo* dos processos de desenvolvimento a um nível de detalhamento nunca antes visto. William Harvey foi possivelmente o expoente das investigações na área, e suas observações transformaram a maneira de enxergar o desenvolvimento embrionário, como um processo extremamente dinâmico de modificações morfológicas ao longo do espaço e do tempo. As pesquisas de Harvey e seu ceticismo com relação à geração espontânea² também lançaram luz ao mais extenso e controverso debate ocorrido no final do século XVIII para explicar o desenvolvimento de um organismo, entre a epigênese e a pré-formação. O termo epigênese, cunhado por Aristóteles em seu livro *De Generatione Animalium* (350 a.C.), é o processo no qual plantas, animais e fungos se desenvolvem a partir de uma massa indiferenciada de células, que se diferenciam em um conjunto organizado, o embrião. Essa teoria foi por muito tempo desacreditada, em detrimento da ideia de pré-formação - concebida no âmbito das teorias criacionistas sobre a origem da vida e assume que os organismos se desenvolvem a partir de miniaturas deles mesmos, como um homúnculo dentro do espermatozoide. Esse debate veio a ser resolvido somente com a interpretação dos experimentos de Lazzaro Spallanzani sobre inseminação artificial no final do mesmo século.

O estudo da embriologia no século XIX foi marcado por duas áreas de investigação. A primeira, influenciada pela escola aristotélica, procurava entender as relações entre os organismos através da descrição comparativa do modo de desenvolvimento embrionário. Foi dessa área que a busca por homologias - o estudo da relação entre estruturas em indivíduos ou espécies distintos que compartilham um ancestral comum - veio a ser estudada através das relações espaciais durante o desenvolvimento embrionário. Etienne Geoffroy Saint-Hilaire foi quem propôs uma unidade de organização comum ao plano corporal de todos os animais, em sua obra *Philosophie Anatomique* (1818). A segunda área de investigação marcou o início da embriologia descritiva moderna, em que as hipóteses de Saint-Hilaire foram expandidas e estudadas com rigor, especialmente pelos embriologistas alemães Karl Ernst Von Baer e Christian Pander, responsáveis pela descoberta da célula ovo de mamíferos e pelo conceito dos três folhetos germinativos como base da embriogênese, respectivamente. Desses esforços nasceu a generalização de que embriões de diferentes espécies tendem a ser mais parecidos entre si em fases iniciais do seu desenvolvimento, diferindo à medida que progridem.

Estimulados pela publicação de *A Origem das Espécies* de Charles Darwin em 1859, a segunda metade do século XIX foi marcada pelos estudos embriológicos centrados nos mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento embrionário e sua relação com a evolução das diferenças morfológicas. Enormes avanços emergiram de experimentos com a manipulação de partes específicas do embrião, entre eles o conhecimento do modo de regulação embrionária e sua indução, tendo Hans Spemann entre um de seus expoentes. Entretanto, as descobertas realizadas durante as décadas de 1880 e 1940 foram incapazes de integrar a embriologia no contexto da chamada “síntese moderna” entre genética e evolução. Na ausência de novos conceitos que explicassem os mecanismos pelos quais os organismos se desenvolviam e como surgiam as diferenças, a embriologia sofreu um longo período de estagnação que só foi superado graças à emergência de uma visão abrangente e dinâmica chamada biologia evolutiva do desenvolvimento.

²A geração espontânea foi uma teoria, hoje desacreditada e obsoleta, que defendia que organismos vivos poderiam se desenvolver a partir da matéria não-viva.

OS PROBLEMAS DA BIOLOGIA EVOLUTIVA DO DESENVOLVIMENTO

Durante os séculos XIX e XX a biologia experimentou duas grandes revoluções no conhecimento - a genética e a evolução. Darwin esclareceu que a enorme diversidade de espécies encontrada no registro fóssil e nos organismos atuais era o produto da seleção natural agindo ao longo do tempo. Baseada nas leis de hereditariedade de Gregor Mendel, a biologia molecular desvendou como a transmissão dos caracteres de todas as espécies era passada de uma geração a outra por meio da codificação em moléculas de DNA. Embora essas concepções fossem bastante convincentes em elucidar a origem das inúmeras formas de vida, elas foram incapazes de explicar *como* essas formas foram geradas ou evoluíram. Assim, os desafios da biologia evolutiva do desenvolvimento estão em compreender ao nível molecular como a diversidade de tipos celulares e sua organização espacial e temporal moldam a construção de um organismo multicelular, e como os mecanismos por trás desses processos evoluem filogeneticamente.

Para entender como um organismo tridimensional se forma, três questões principais do desenvolvimento embrionário devem ser respondidas. A primeira delas é compreender sua *morfogênese*, através da análise do desenvolvimento embrionário em que uma única célula fecundada dará origem a um animal complexo com muitos bilhões de células. A segunda questão é como a célula ovo, com apenas um tipo celular, se desenvolve e gera centenas de tipos celulares diferentes. Uma vez que o genoma³ de cada célula é o mesmo, a *diferenciação* de tipos celulares requer um delicado controle genético da ativação diferencial dos genes⁴, ao nível espacial e temporal. Já que a diversidade morfológica surge por alterações no embrião, podemos dizer que o desenvolvimento está intimamente ligado à evolução. Assim, a última e mais recente questão é entender como modificações nos processos do desenvolvimento se originam e evoluem, levando à geração de novas características nos organismos. A biologia evolutiva do desenvolvimento ou “evo-devo” é fruto dessa questão, e será o foco do capítulo.

A EVO-DEVO E A CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA ANIMAL

A origem da diversidade e a formação da arquitetura animal é o resultado de dois processos intimamente relacionados. O primeiro é a transformação de uma única célula ovo em um indivíduo adulto, processo conhecido como *embriogênese*. O segundo é a evolução da forma animal, e decorre por meio das alterações no seu desenvolvimento. Darwin em seus dois livros *A origem das espécies* (1859) e *A origem do homem* (1871) pedia que seu leitor refletisse sobre como pequenas alterações, ao longo de milhões de anos, poderiam levar a formação de diferentes estruturas, adaptadas ao meio ou não, que viriam a ser testadas pela seleção natural. Para Thomas H. Huxley, em seu livro *Aphorisms and Reflections* (1907), o argumento era simples: “assim como nós nos maravilhamos com o processo de transformação do embrião em um indivíduo adulto e o aceitamos como um fato cotidiano, é apenas por falta de imaginação que não conseguimos compreender como alterações nesse processo, ao longo de um período muito extenso de tempo - muito maior que a duração da vida humana - moldam a diversidade da vida”.

A convergência entre a embriologia e a biologia evolutiva veio somente durante a década de 1970, quando

³O genoma é a informação genética total pertencente a uma célula ou a um organismo e mantida na forma de DNA.

⁴Gene é toda região do DNA transcrita como uma única unidade e que carrega a informação sobre uma característica hereditária em particular. Um gene pode corresponder (1) a uma única proteína, ou a um conjunto de proteínas geradas após o processamento pós-transcricional; (2) a um único RNA ou um conjunto de RNAs relacionados.

Stephen Jay Gould lançou seu livro *Ontogeny and Phylogeny*, e reascendeu a discussão sobre como modificações no desenvolvimento dos organismos poderiam influenciar a evolução. Nessa época, estava claro que a evolução deve-se à alteração nos genes, mas não havia exemplos de como um gene afetava a forma e a evolução animal. A ausência de exemplos chegou ao fim nas duas últimas décadas do século XX com os trabalhos pioneiros em *Drosophila* (moscas-frutas), nos quais geneticistas finalmente encontraram evidências de como os genes controlam a embriogênese nesse organismo. Por meio da análise massiva de sequências moleculares, essas descobertas foram estendidas a diferentes organismos-modelo, gerando uma revelação notável e até certo ponto inesperada, da conservação evolutiva dos mecanismos básicos de construção dos animais. Essas descobertas contrariaram a lógica amplamente aceita de que quanto maior a disparidade morfológica entre os animais, menores ou nulas seriam as similaridades genéticas apresentadas em seu desenvolvimento. Ernst Mayr, um dos edificadores da síntese moderna, acreditava que milhões de anos de evolução haviam apagado qualquer indício de homologias em animais distantes evolutivamente. Sua conclusão foi assim expressa: “a busca por genes homólogos é bastante inútil, exceto naqueles muito relacionados”. Entretanto, a busca por genes homólogos revelou que os mesmos genes organizadores da arquitetura corporal em drosófila estavam presentes na maioria dos animais, e realizavam as mesmas funções, inclusive em nós humanos.

A alta similaridade genética e a presença de genes homólogos em animais distantes filogeneticamente lançaram as bases da integração entre a biologia evolutiva e a biologia do desenvolvimento, agora chamada de biologia evolutiva do desenvolvimento. As primeiras descobertas da evo-devo revelaram a existência de um “kit de ferramentas” comum a todos os indivíduos, que contém genes “mestres” responsáveis pela morfogênese e diferenciação subjacentes ao desenvolvimento embrionário. Tais evidências apresentadas reforçam a posição do *Homo sapiens* como parte de um ramo da árvore evolutiva, igual a todas as outras linhagens de organismos que nela existem.

COMO SURGE A DIVERSIDADE?

Talvez a maior consequência do progresso metodológico e conceitual experimentado pelas áreas da genética e biologia celular e molecular e sua aplicação à biologia do desenvolvimento seja a presença do “kit de ferramentas” comum responsável pela formação de todos os indivíduos e a similaridade entre o genoma de diferentes espécies. Por exemplo, sabemos que humanos compartilham 99% do genoma com chimpanzés, 88% com camundongos, 75% com galinhas e 60% com drosófila. Mas se os animais são construídos a partir de um conjunto semelhante de genes, como então surge a diversidade?

Esse paradoxo da similaridade genética entre as espécies pôde ser solucionado através de duas importantes descobertas oriundas da evo-devo. A primeira delas é que a origem da diversidade não recai sobre o conteúdo do “kit de ferramentas” em si ou o quanto espécies distintas compartilham o mesmo genoma, mas sim, na forma como os genes são usados. A ativação ou desativação diferencial de determinados genes ao longo do desenvolvimento é o processo responsável pela diversidade de tipos celulares e construção das diferentes formas animais. Esse controle genético é realizado ao longo de uma escala espacial e temporal. Logo, diferenças evolutivas no desenvolvimento dos organismos surgem por alterações em *quando*, *onde* e *como* esses genes são ativados ou desligados. A segunda maneira de resolvermos esse paradoxo consiste no fato de conhecermos quem é o agente responsável pelo controle de quando, onde e como os genes são expressos. Com o desenvolvimento das técnicas de sequenciamento do DNA, foi possível

determinar que apenas uma fração de nosso genoma - cerca de 1,5% - é responsável pela codificação de praticamente todas as proteínas do nosso corpo. A expressão desses genes está condicionada aos *reguladores*, que compõem cerca de 3% do genoma, no caso dos humanos. Esse DNA, como seu próprio nome sugere, tem a função de determinar *quando, onde e como* cada gene é expresso. São alterações na sequência do DNA regulador que levam às mudanças na morfologia e criam a diversidade de formas.

GENERALIDADES DA MORFOLOGIA E DA EVOLUÇÃO ANIMAL

Um aspecto inerente à arquitetura animal é que todos os organismos são constituídos pelos mesmos elementos básicos ancestrais de estruturas repetidas em série, chamados *módulos*. A concepção modular pode ser facilmente visualizada nas vértebras, membros e falanges dos dedos de animais vertebrados. Certamente esse padrão não se limita aos vertebrados, podendo ser encontrado em diversas formas fósseis de animais invertebrados, como em trilobitas, e também em artrópodes atuais, como nas escamas das asas das borboletas.

Uma vez que a formação do embrião é um processo fino e delicadamente ajustado, pensava-se que a única maneira de promover evolução sem bagunçar a organização correta do embrião, era se as mudanças fossem adicionadas em estágios finais do desenvolvimento embrionário. Mas agora sabemos que as novidades evolutivas podem surgir em qualquer estágio do desenvolvimento. Isso se deve principalmente ao fato de que, como num indivíduo adulto, o desenvolvimento embrionário também ocorre em unidades modulares que interagem. Essa constituição em unidades modulares permite que diferentes partes do corpo sejam alteradas sem a interferência em outras funções.

O biólogo inglês William Bateson foi o pioneiro a constatar, há mais de um século, que os animais são formados por elementos repetidos, e que podem ser constituídos por unidades recorrentes. Por exemplo, ele percebeu que embora todos vertebrados possuam uma coluna vertebral modular, há uma enorme variação no número de vértebras entre diferentes organismos, como em galinhas, seres humanos e serpentes. Além do número, os tipos vertebrais também são diferentes; há vértebras cervicais, torácicas, lombares, sacrais e caudais. Assim, ele concluiu que a principal diferença entre as espécies estava na *quantidade* e no *tipo* das estruturas modulares.

Para estabelecermos comparações entre diferentes partes do corpo de espécies distintas, temos que verificar se essas partes são ou não, a mesma estrutura que sofrera modificações ao longo do tempo. Dessa forma, empregamos o conceito de *estruturas homólogas* àquelas encontradas nos indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes, que foram herdadas de um ancestral comum. Assim, podemos perceber que todas as variações dos membros anteriores da asa de um falcão, pata de cachorro, vaca ou tartaruga, são modificações de uma mesma estrutura na qual o número, tamanho e o formato dos elementos diferem. Em contrapartida, ao compararmos os membros anteriores com os posteriores, é possível concluir que são *homólogos seriais*, ou seja, estruturas semelhantes que aparecem em um mesmo organismo como repetições de partes do corpo, mas que se diferenciaram de maneira distinta em cada espécie.

Um padrão recorrente do estudo de répteis marinhos ancestrais - em que grupos primitivos costumavam ter um grande número de módulos repetidos em série, mas que nas espécies derivadas estavam presentes em menor número e eram mais especializados - levou o paleontólogo e entomologista Samuel Williston a declarar em 1914, que “é também uma lei evolutiva que as partes de um organismo tendem à redução do número, com poucas partes assumindo uma função extremamente especializada”. De fato, há uma tendência durante a evolução dos animais de expansão inicial

de estruturas homólogas seriais, seguida de uma especialização funcional e posterior redução numérica dessas partes.

Além dessas generalidades da construção da arquitetura e da evolução animal, os organismos tendem a apresentar um padrão de *simetria* e *polaridade* comuns, que definem os eixos de como são formados. No caso de animais com simetria bilateral, o lado direito e/ou esquerdo de sua anatomia externa espelha imagens do lado oposto, e são separados por um eixo central. Animais com simetria radial, como equinodermos (estrelas-do-mar), possuem um corpo dividido em cinco eixos e apresentam uma parte superior e inferior, mas não anterior e posterior. A polaridade, por sua vez, define a direção da cabeça à cauda, de cima para baixo e do centro para a periferia. Todas essas generalidades e tendências evolutivas indicam que existem *regras gerais* para a formação e evolução da arquitetura animal.

A CONTRIBUIÇÃO DOS MUTANTES HOMEÓTICOS

Em seu tratado *Material for the Study of Variation* (1984), William Bateson catalogou uma enorme diversidade de animais expostos em museus que apresentavam anomalias anatômicas. Essas excentricidades incluíam uma abelha e uma vespa com patas no lugar das antenas, borboletas com diferentes ocelos⁵ - as pigmentações em formato de olhos - nas asas, anfíbios com vértebras extras, etc. Bateson dividiu essas alterações morfológicas em dois grupos: um no qual o número de unidades modulares fora alterado e outro no qual uma parte do corpo assumira a aparência de outra. A essas últimas alterações ele chamou de *variantes homeóticas* (do grego *homeos*, igual ou similar).

Para que fosse entendido como as mutações homeóticas eram geradas e qual suas implicações no desenvolvimento embrionário, era necessário um organismo que reproduzisse essas alterações e que fosse possível estudá-lo em laboratório. Em 1915, o geneticista Calvin Bridges isolou uma mutação espontânea na mosca *Drosophila melanogaster*, que fazia com que as asas posteriores se desenvolvessem da mesma maneira que as asas anteriores, e chamou esse mutante de *bithorax*. Outros mutantes homeóticos foram identificados em drosófila, como o mutante *Antennapedia*, em que patas estão posicionadas no lugar das antenas. Essas mutações foram importantes porque aconteciam em um único gene, que foram chamados de *genes homeóticos*. Devido ao número muito pequeno de genes homeóticos em drosófila, as relações de causa-efeito se tornavam relativamente fáceis de serem estudadas. Mas como é possível que uma mutação em um único gene altere como e onde uma estrutura inteira é formada?

OS GENES HOX EM DROSOPHILA

Com o avanço das técnicas moleculares de clonagem⁶, os biólogos foram capazes de identificar e mapear oito genes homeóticos em drosófila, que se dividiam em dois agrupamentos. O primeiro, chamado de complexo *bithorax*, era composto por três genes, que agiam na metade posterior do corpo da mosca. O segundo, denominado complexo

⁵Também chamados de manchas ocelares ou em inglês eyespot, os ocelos são encontrados em borboletas, répteis, gatos, aves e peixes. Em borboletas, por exemplo, os ocelos nas asas podem assumir pelo menos três funções: a primeira, ao mimetizar olhos os ocelos podem evitar o ataque de predadores, como aves insetívoras; a segunda, os olhos nas asas poderiam atrair os ataques dos predadores para essas manchas, evitando ataques em partes vitais do corpo; a terceira, os ocelos são responsáveis pela manutenção da identidade das espécies.

⁶Clonagem molecular é uma técnica de construção de DNA recombinante - molécula de DNA formada pela ligação de duas moléculas de origens diferentes - que tem por objetivo obter um elevado número de cópias de um gene ou fragmento gênico de interesse para estudar sua função.

Antennapedia, possuía cinco genes responsáveis pelo desenvolvimento da metade anterior. Um fato ainda mais curioso é que a ordem de organização desses genes nos cromossomos correspondia exatamente à parte do corpo que eles afetavam. Com o sequenciamento dos genes homeóticos, foi possível descobrir qual o produto desses genes, ou seja, quais proteínas eles codificavam. Mais do que isso, também foi identificada uma pequena região no DNA com cerca de 180 pares de bases que era muito semelhante em todos os oito genes. Assim, todas as oito proteínas que esses genes codificavam possuíam um domínio em comum de 60 aminoácidos. Essa pequena região do DNA similar nos oito genes ficou conhecida como *homeobox* (*homeos*, igual; *box*, caixa). Para simplificar, os genes homeóticos que possuíam essas caixas foram denominados genes *Hox*.

Os genes *Hox* constituem uma das principais evidências que sustentam a homologia entre todos os animais. Mas, para entender como esses genes atuam teremos que conhecer como um gene é ativado ou desligado. Além da sequência codificante que é transcrita, os genes também são formados por regiões do DNA geralmente não transcritas que funcionam como *interruptores*. São nessas regiões que outras proteínas podem se ligar, controlando a atividade desse gene. As proteínas codificadas pelos genes *Hox* são justamente aquelas que se ligam nas *regiões interruptoras*, regulando a ativação ou desativação, de genes responsáveis pelo desenvolvimento dos organismos. Assim, a interpretação de como um único gene pode controlar quando e onde uma estrutura inteira é formada advém da descoberta da função dos genes *Hox*, que codificam proteínas que atuam na ativação ou inibição de outros genes que, em uma reação em cadeia, fornecem a identidade das regiões corporais de um organismo.

A identificação da existência dos genes *Hox* em todos os organismos, e as similaridades na sequência desses genes entre diferentes espécies levou Slack e colaboradores a postularem, em 1993, que o padrão de expressão dos genes *Hox* é responsável pelo desenvolvimento de todos os animais e o local onde cada gene *Hox* é expresso é o mesmo para todos os grupos de animais. Ou seja, o gene *Hox labial* é expresso sempre na região anterior, o gene *Ubx* no centro, e o gene *AbdB* na região posterior de qualquer animal. Um exemplo é a proteína Caudal codificada pelo gene *Cdx-1* que é responsável pela indução do desenvolvimento da região posterior em drosófila, camundongos e nematódeos. Dessa maneira, animais completamente diferentes, com origens evolutivas distantes, são construídos não só pelas mesmas ferramentas, mas também pelos mesmos genes. A despeito dessa semelhança, as diferenças entre os organismos e grupos animais devem emergir de *como*, *onde* e *quando* os genes *Hox* são ativados e quais são os outros genes que eles regulam.

DIFERENTES OLHOS, UM MESMO GENE

Insetos, cefalópodes e mamíferos possuem tipos de olhos completamente diferentes uns dos outros. Os insetos possuem olhos compostos formados por um conjunto de centenas de lentes, cada uma chamada de omatídeo, que funcionam em conjunto para produzir uma imagem sem nitidez. Cefalópodes e mamíferos possuem olhos tipo câmera, formados por uma lente - o cristalino - e pela retina, que detecta os sinais e os envia ao cérebro. Entretanto, esses olhos se desenvolvem de maneira tão distinta que já se acreditou que estruturas como essas surgiram independentemente por 40 vezes ao longo da evolução animal. Mas ninguém esperava que olhos com morfologias tão discrepantes e diversificadas no reino animal possuíssem uma origem em comum. E, além disso, que o desenvolvimento dessas estruturas era governado pelo mesmo gene, chamado *Pax6*.

Alelos mutantes do gene *Pax6* em humanos - que recebe o nome de *Aniridia* - provocam malformações no olho

pela redução parcial ou total da íris. Em camundongos e ratos, o gene *Pax6* é chamado de *small eye* e quando mutado reduz ou bloqueia a formação do olho. Em 1994, pesquisadores isolaram um gene em drosófila que mostrava 94% de homologia com *Pax6*, chamado *eyeless*. Mutações de perda-de-função⁷ nesse gene também causavam redução ocular em indivíduos heterozigotos e a falta de olhos em moscas homozigotas. A questão que intrigava os estudiosos da evo-devo era: como o mesmo gene participava da formação de olhos tão distintos?

Novamente, os estudos com drosófila nos ensinaram uma lição de modéstia. Dois experimentos tentaram responder essa questão. O primeiro buscou comprovar que *eyeless* era responsável pelo desenvolvimento ocular ao ativar esse gene em outras partes do corpo da mosca, induzindo a formação de tecido ocular em asas e patas, por exemplo. O segundo experimento, introduziu o gene de camundongo *small eye* em drosófila. Quando o gene do camundongo foi ativado o resultado foi o mesmo encontrado no experimento anterior, onde tecidos oculares da própria drosófila foram observados em diferentes locais do corpo da mosca, sugerindo que a forma final do tecido depende em qual espécie ele se desenvolve, e não da origem do gene.

Dessa forma, descobriu-se que o gene *Pax6* é um gene *mestre* regulador do desenvolvimento ocular em todos os animais, desde estruturas simples de platelmintos até os olhos complexos dos vertebrados. O papel de *Pax6* em organismos tão distintos provavelmente reflete sua função ancestral na formação de estruturas oculares no antepassado comum de todas as espécies, conservada ao longo da evolução.

Para finalizarmos esta seção, gostaria de fazer algumas considerações a respeito da origem evolutiva do olho humano. O olho humano é um órgão complexo e, por isso, foco recorrente de um tema no qual criacionistas e defensores do *design* inteligente usam como exemplo básico de um conceito chamado complexidade irreduzível. Este conceito assume que sistemas biológicos como o olho possuem uma complexidade tal qual considera ser extremamente improvável que tenham evoluído naturalmente a partir de organismos mais simples e “menos completos”. Ou seja, seria improvável que estruturas complexas tenham surgido apenas por mutações e seleção natural ocorridas de maneira espontânea. E para explicar o surgimento de tal complexidade, os criacionistas e defensores do *design* inteligente se baseiam na interferência de uma inteligência superior que orquestrou a formação de tais estruturas. Michael Behe foi o idealizador desse conceito, e usa o olho humano como exemplo de uma estrutura complexa, composta por várias partes interconectadas e delicadamente ajustadas. A retirada de qualquer parte do olho realmente inviabiliza a função de captar imagem. Mas se o olho humano tivesse sido realmente criado por um ser superior, não seria esperado que o gene que controla a sua formação fosse encontrado em animais tão distintos como camundongo, drosófila e humanos, apresentando a mesma função. Mas então, o que os fósseis e os estudos de evo-devo nos informam? Os olhos de todos os animais, inclusive o nosso, são compostos por tecidos moles que raramente fossilizam. E mesmo que em algumas ocasiões essas estruturas fossilizadas fossem encontradas, dificilmente os detalhes necessários para determinar como evoluíram estariam preservados. Desse modo, o avanço da biologia evolutiva do desenvolvimento, através do estudo de embriões, comparando estruturas oculares e identificando genes mestres responsáveis pelo seu desenvolvimento em diferentes espécies de organismos, como o *Pax6*, possibilitou determinar como, onde e quando surgem os caracteres essenciais para a formação do olho em humanos e em tantas outras espécies. Essas evidências científicas, testadas

⁷Mutações de perda de função são aquelas que resultam em um produto gênico com menor ou nenhuma função. Essas mutações podem estar no meio de um gene ou fora dele, como por exemplo, estando em um sítio de ligação de uma proteína que regule a expressão gênica.

extensivamente de maneira independente em diferentes laboratórios de pesquisa no mundo, sepultam o argumento especulativo da complexidade irreduzível de Behe, e representam mais uma prova da ocorrência da evolução.

SOBRE A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DOS APÊNDICES

A formação de qualquer projeção do corpo em um animal está intimamente associada à expressão de um gene chamado *distal less* (abreviado para *Dll*). Esse gene, como você já deve ter imaginado, faz parte do “kit de ferramentas”. Assim como *Pax6*, *Dll* é responsável pela construção de apêndices completamente diferentes em animais representantes de diversos ramos da árvore evolutiva. Isso inclui pernas em artrópodes, nadadeiras de peixes, patas em galinhas, parapódios em vermes marinhos, ampolas em ascídias, etc. Dessa forma, as mesmas interpretações aplicadas à *Pax6*, também podem ser usadas para explicar a evolução dos apêndices por meio do gene *Dll*. Provavelmente, um ancestral comum a todos os organismos possuía esse gene para construir algum tipo de projeção do corpo, e esse papel vem sendo utilizado pela evolução para criar a diversidade de membros existentes.

Nos vertebrados, o padrão de quatro membros é antigo e existem muitas semelhanças no seu desenvolvimento em todos representantes do grupo. Nesses animais, os membros anteriores surgem a partir dos somitos, que são pequenas projeções epiteliais transitórias localizadas na lateral do embrião. Logo no início da formação do embrião, a expressão de *Dll* já delimita a posição dos tecidos que darão origem ao membro. Pequenos brotos surgem do embrião e seus eixos tridimensionais são organizados por outros genes do “kit de ferramentas”, como *Sonic hedgehog*, expresso na parte posterior do broto, *FGF8*, em que seu produto proteico é encontrado ao redor da margem externa do broto, e o gene *Lmx*, exclusivamente ativado nas células da metade superior do membro. A formação dos ossos, dígitos, articulações, tendões e músculos ocorrem na direção proximal-distal. A diferenciação do membro acontece com a expressão do gene *Sox9*, responsável pela condensação da cartilagem inicial em ossos, e a futura posição das articulações são demarcadas pelo gene *GDFS*. Os tendões têm a função de fixar os músculos aos ossos, e também são formados por um gene do kit de ferramentas, chamado *scleraxis*.

Os membros dos vertebrados também podem ser esculpidos por apoptose, um tipo de morte celular programada das células. Humanos e outros animais como gorilas e camundongos, apresentam os dedos das mãos e dos pés separados porque o tecido que estava presente entre eles, chamado de membrana interdigital, sofreu apoptose. As células que compõem a membrana interdigital só morrem porque foram marcadas pela expressão de diversos genes do “kit de ferramentas”. Em outros animais como patos, mergulhões e ariranhas, os genes do “kit de ferramentas” impedem que essas células morram, e as membranas interdigitais permanecem presentes.

A estrutura dos membros dos vertebrados pode variar em tamanho, forma e quantidade. Esses componentes são influenciados principalmente por um subconjunto de genes *Hox* que são expressos em padrões complexos, durante o desenvolvimento dos membros anteriores e posteriores. Na maioria das espécies, os componentes dos membros anteriores diferem dos componentes dos membros posteriores⁸, e um subgrupo de genes do kit de ferramentas é

⁸Para os anatomistas, os termos corretos para membros anteriores e membros posteriores seriam membros craniais e membros caudais, respectivamente. Esses termos abrangem tanto animais que têm o eixo sagital perpendicular ao chão, quanto os que têm eixo sagital mediano paralelo ao chão e engloba, assim, todos os animais com simetria bilateral.

expresso de modo distinto em cada membro, governando as diferenças entre esses apêndices homólogos seriais e a forma como evoluem.

A COMPLEXIDADE E O PAPEL DOS INTERRUPTORES NO PARADOXO DO “KIT DE FERRAMENTAS”

Um ponto importante que deve ficar claro na leitura deste capítulo é sobre a ordem de ação dos genes do “kit de ferramentas” durante o desenvolvimento. Assim como na construção de uma casa, em que precisamos preparar o terreno, fazer a fundação, levantar as paredes e colocar o telhado; o desenvolvimento dos organismos segue uma *ordem* de eventos, que têm uma sucessão lógica de acontecimentos para a formação de um animal tridimensional. Erros em qualquer etapa desse processo acarretam no surgimento das mutações que vimos anteriormente, afetando todas as fases seguintes.

Por meio da ação paralela entre genes do “kit de ferramentas” e os interruptores dos genes mestres do desenvolvimento, responsáveis por *como, onde e quando* um gene é expresso, é que surge a complexidade. Dezenas de genes agindo ao mesmo tempo e no mesmo local, e muitos outros atuando simultaneamente em locais distintos, em redes de ativação e inativação diferencial à medida que o desenvolvimento de um embrião progride.

O sequenciamento do genoma nos mostrou que humanos, chimpanzés e camundongos compartilham praticamente da mesma quantidade de genes. A descoberta de que animais evolutivamente distantes também compartilham dos mesmos genes do kit de ferramentas, despertou o paradoxo de como surgem as diferenças. Mas foi, sem nenhuma dúvida, a descoberta do funcionamento dos interruptores genéticos a chave para resolução do paradoxo. Agora, já estamos aptos a pensar que o kit de ferramentas comum a todas as espécies é utilizado de maneiras distintas pelo controle dos interruptores.

Sob o ponto de vista da evo-devo, alterações causadas por mutações na sequência dos genes que controlam o desenvolvimento, assim como nos interruptores dos genes que determinam quando estes genes devem ou não ser ativados, são os motores responsáveis pelas mudanças que geram a variação. E segundo Charles Darwin, a variação é o fator indispensável para que a seleção natural aconteça.

O PAPEL DA EVO-DEVO E A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO BIOLÓGICO

A união entre a biologia do desenvolvimento e a biologia evolutiva desencadeou a solução de muitos mistérios da evolução das formas animais. A determinação de quem são e como atuam os genes do “kit de ferramentas” e a identificação do alto grau de conservação em formas animais atuais ilustra a base da evo-devo para explicar a origem das estruturas, assim como sua presença em animais ancestrais. Assim, o conceito do uniformitarismo geológico em que “o presente é a chave para o passado” também pode ser aplicado à evo-devo. O papel da evo-devo está em nos mostrar como a infinidade de formas foi e continua sendo gerada por “descendência com modificação”.

Nesse sentido, a importância do conhecimento biológico está justamente em olhar para o passado e saber de onde viemos e qual o nosso papel na natureza. A ciência, por sua vez, por meio de suas descobertas, tenta preencher uma curiosidade intrínseca do ser humano por explicações de como as coisas são, se formam ou acontecem. A ausência de conhecimento nos leva a um estado natural de incomodação, e isso muitas vezes é responsável pelo surgimento de ideias

alternativas de explicação do mundo, que não condizem com o método científico. São as lacunas no conhecimento que permitem com que explicações alternativas surjam - como no caso do *design* inteligente. Mas a ciência não é completa, ela não sabe tudo nem nunca saberá, pois está em constante desenvolvimento. Portanto, explicações sobrenaturais do mundo sempre poderão existir. Mas, felizmente, essas lacunas são transitórias e o conhecimento gerado pelo método científico ao longo do tempo tende a preenchê-las. Nas palavras do astrofísico Neil de Grasse Tyson: “não há problema em não saber todas as respostas. É melhor admitir nossa ignorância do que acreditar em respostas que podem estar erradas. Fingir que sabemos de tudo fecha a porta para a descoberta do que realmente estava lá”. Assim, a ignorância nunca pode ser preferível ao conhecimento.

BIBLIOGRAFIA

BEHE, M. **Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution**, 2. ed. New York: Free Press, 1996. 352 p.

BONNER, J. T. **The Evolution of Complexity by Means of Natural Selection**. Princeton: Princeton University Press, 1988. 272 p.

CARROL, S. B. **Endless forms most beautiful (The new science of Evo Devo and the making of the animal kingdom)**. New York: W. W. Norton & Company, 2005. 368 p.

CATALDI, L.; FANOS, V. Leonardo da Vinci and his studies on the human fetus and the placenta. **Acta Biomed Ateneo Parmense**, v. 71, n. 1 Suppl, p. 405-406, 2000.

GILBERT, S. **Developmental Biology**, 9. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2010. 711 p.

MARK M.; RIJLI, F. M.; CHAMBON, P. Homeobox Genes in Embryogenesis and Pathogenesis. **Pediatric Research**, v. 42, n. 4, p. 421-429, 1997.

NEEDHAM, J. **A History of Embriology**, 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1959. 304 p.

RIEDL, R. **Order in Living Systems: A Systems Analysis of Evolution**. New York: John Wiley and Sons, 1978. 334 p.

SLACK, J. M. W. **From Egg to Embryo: Determinative Events in Early Development**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983. 256 p.

SUBRAMANIAN, V.; MEYER, M. I.; GRUSS, P. Disruption of the murine homeobox gene *Cdx1* affects axial skeletal identities by altering the mesodermal expression domains of *Hox* genes. **Cell**, v. 83, n. 4, p. 641-653, 1995.

WILLISTON, S. W. **Water Reptiles of the Past and Present**. Chicago: University of Chicago Press, 1914. 262 p.

CAPÍTULO VI - O DESIGN INTELIGENTE E O ARQUITETO DE OBRAS PRONTAS

Tony Silveira¹

Durante grande parte da história de sua sociedade o ser humano acreditou ser o centro de toda criação. Analisando as mais antigas histórias contadas sobre a origem do mundo e da vida, percebe-se que geralmente o homem é a “criatura” que recebe todo o resto da criação para dela livremente usufruir.

Uma das primeiras civilizações a surgir foi a Suméria. Datando de cerca de 3500 a.C., essa civilização ocupava o sul da Mesopotâmia, região compreendida entre os rios Tigre e Eufrates, onde atualmente se localiza o Iraque. O povo da Suméria acreditava na existência de deuses responsáveis pela criação do ambiente extraterreno. Os deuses que regiam os elementos terrestres, por sua vez, teriam nascido a partir dos deuses preexistentes que criaram o cosmos. Assim, originara-se uma linhagem de deuses correlacionados como um grupo familiar que vivia numa morada celestial, o Dilmun. Os semideuses também estavam presentes na cultura dos sumérios, eram personagens mortais meio humanos meio deuses. Ao ler isso você pode estar se lembrando das famosas lendas gregas, as quais registram vários deuses, cada um correspondendo a um atributo da natureza e da sociedade grega da época. Esses deuses também surgem a partir de um divino casal inicial, todos pertencem à mesma família e, aqueles principais na hierarquia, vivem na morada celestial, o monte Olimpo. Essas similaridades e paralelismos não são meras coincidências. Assim como um idioma origina outro ao longo do tempo, uma religião primitiva também pode influenciar na criação de outras.

Os sumérios também tinham histórias fantásticas sobre as origens do ser humano. O mito sumério sobre a criação do homem envolve deuses cultivando um jardim e soprando a energia vital sobre uma escultura humanoide feita de barro. Outro mito curioso explica que, após o ser humano ter se estabelecido e colonizado a Terra, os deuses teriam se arrependido de sua criação e planejaram dar um novo início à espécie humana e a toda vida da Terra. Através de um dilúvio resultado de uma chuva torrencial que caíra durante seis dias e seis noites, os deuses condenaram à morte a maior parte da humanidade e dos animais, exceto um homem digno (Utnapishtim) e seus familiares, que deveriam salvar “a semente” de cada espécie animal vivente no planeta. À essa família couberam as tarefas de construir uma grande embarcação, que serviria para preservar a vida durante o dilúvio, e de repovoar a Terra após essa terrível catástrofe. Se você não reconheceu os paralelos propostos anteriormente entre as crenças sumérias e a antiga religião grega, com certeza pôde conceber agora uma relação clara e direta com algumas religiões modernas, com uma diferença: a substituição do sistema politeísta pelo sistema monoteísta, ou seja, os vários deuses típicos de crenças mais antigas deram lugar a um único personagem divino nas religiões contemporâneas. A tendência dos povos da antiguidade serem politeístas talvez se explique pelo fato de que muitos aspectos da vida cotidiana careciam de explicações e para cada um desses episódios misteriosos à época uma entidade sobrenatural era estabelecida. Com o desenvolvimento da ciência, os mistérios do mundo puderam ser explicados de maneira não mitológica e as divindades foram gradativamente perdendo espaço na interpretação das leis naturais.

¹Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande.”

O fato é que a origem da vida no planeta Terra ainda não foi totalmente desvendada pelos cientistas. Por isso, a teoria da criação do universo e da vida por uma divindade sobrenatural, conhecida por criacionismo, ainda é tão aceita pela população. Buscar explicações, ou criá-las, através de mitos é um comportamento arcaico inerente da natureza humana que pode ser observado olhando-se para o passado. Isso já aconteceu em diversas culturas, mesmo nas mais distantes e isoladas, na tentativa de explicar o sol, a lua, os raios, o fogo, o vento, o amor, a fome, o sono, a vida. Explicar a natureza do mundo através de contos fabulosos é um retrocesso para o progresso da história do pensamento humano e devemos evitar entender o mundo baseados nesse tipo de explicações.

Em resposta ao avanço e à popularização moderna da ciência, ressurgiu uma demanda, por certo segmento da sociedade, de uma maneira que considerasse a ciência, sem deixar de lado a religião, para explicar as origens da vida em nosso planeta. Essa demanda já havia existido antes, bem como a maneira de explicar a vida mesclando ciência e religião. Em 1802, William Paley em sua obra intitulada “*Natural theology – Evidences of the existence and attributes of the deity collected from the appearances of nature*” (Teologia natural – Evidências da existência e atributos da divindade coletados a partir dos fenômenos da natureza), elaborou uma hipótese muito parecida, em sua essência, com a hipótese que vemos ganhar força hoje em dia. A teologia natural se popularizou extremamente rápido no século XIX. Charles Darwin chegou a afirmar, em sua autobiografia, que a seleção natural, descoberta por ele, extinguiria por completo a hipótese da teologia natural. Mas Darwin estava enganado!

Atualmente vemos crescer uma abordagem religiosa inovadora, mas que ironicamente já existe há mais de 200 anos, para tratar sobre o surgimento e a manutenção da vida na Terra. Tal abordagem recebeu o nome de “*design inteligente*”, ou desenho inteligente, e foi criada como uma forma aparentemente mais convincente de reafirmar e difundir o criacionismo das religiões cristãs.

O termo foi usado pela primeira vez em um livro publicado em 1989, destinado a estudantes de biologia do ensino médio, intitulado “*Of pandas and people: the central question of biological origins*” (Sobre pandas e pessoas: a questão central das origens biológicas). Contudo a obra era muito menos biológica do que religiosa. O *Of pandas and people* tinha um intuito de ensinar o criacionismo cristão como ciência nas escolas dos Estados Unidos. Esse “disfarce” científico/biológico de um livro sobre religião foi uma manobra da “*FTE - Foundation for Thought and Ethics*” (Fundação para o Pensamento e Ética) para burlar a primeira emenda da constituição americana, a qual desvincula explicitamente a religião do Estado e impede que escolas públicas ofereçam disciplinas de ensino religioso baseadas em apenas uma doutrina. Os editores do livro evitaram ao máximo se utilizarem dos termos “criacionismo”, “bíblia”, “Jesus” ou qualquer outro que fizesse referência à religião, principalmente ao cristianismo, tudo para que a obra passasse uma imagem laica e científica. Outra estratégia foi a substituição da palavra “criacionismo”, muito presente nos rascunhos do livro, pelo termo “*design inteligente*” nas versões finais. A *FTE* conseguiu publicar sua obra que, mesmo não sendo incorporada pelo sistema público de ensino, se popularizou por conta dessa nova roupagem para o criacionismo.

Em *Of pandas and people* o *design inteligente* é proposto como o projeto *arquitetônico dos organismos vivos*. Ao longo do livro os autores interpretam a morfologia dos seres vivos de uma maneira teleológica, buscando justificar as características anatômicas observadas como sendo peças pensadas logicamente e fabricadas para desempenharem uma função pré-determinada nos organismos. Depois disso o *design inteligente* ganhou muitos adeptos e se consolidou como hipótese a ser considerada.

Atualmente o *design inteligente* se mostra como uma pseudociência que busca decifrar a obra do criador. Clas-

sifica-se como pseudociência porque a partir do momento em que um estudo é feito com uma conclusão já estabelecida esse estudo perde seu valor científico, os resultados são arranjados de forma a embasar a conclusão a que se deseja chegar. Num estudo verdadeiramente científico o que move a pesquisa é uma pergunta, uma dúvida, a qual sofre testes em busca de uma resposta. No caso específico do *design* inteligente, a resposta já está definida antes de qualquer análise ser realizada, ideias são postuladas com intuito maior de concluir que existe um *designer* celestial, um deus criador. Outro ponto relevante sobre o *design* inteligente é sua negação aberta à evolução Darwiniana. Uma estrutura anatômica com uma função consolidada atualmente não poderia, segundo os defensores mais radicais do *design* inteligente, ter tido uma versão mais primitiva, pelo fato de que ela não teria a mesma função, portanto não funcionaria. Ou seja, segundo os inteligentistas mais extremistas, uma asa nunca poderia ter se desenvolvido através de estágios gradativos porque um membro torácico coberto de filamentos não ramificados de queratina não serviria para o voo, é muito mais provável que a asa tenha sido intelectualmente projetada por uma inteligência extraterrena para essa finalidade e que sempre tenha existido com a aparência que conhecemos.

A proposta do *design* inteligente afirma que um *designer* inteligente e perfeito projetou toda a vida na terra. Dessa forma, a criação não deveria ter pontos falhos. Porém, não é o que se observa. No decorrer desta seção apresentaremos argumentos que descredenciam o postulado teleológico do *design* inteligente usando uma perspectiva anatômica. Usaremos dois exemplos, um deles muito corriqueiro na vida da maioria da população e outro nem tão corriqueiro assim. Analisaremos alguns sistemas anatomofisiológicos dos vertebrados para elucidar por que os argumentos do *design* inteligente são tão equivocados.

A SELEÇÃO NATURAL ESTÁ EM VOCÊ

Uma das características mais notáveis e também mais audaciosas das vertentes mais conservadoras do *design* inteligente é repudiar a seleção natural como força impulsionadora da evolução. Para alguns a vida só evolui a partir da vontade de um projetista criador, para os mais conservadores nem a seleção natural nem a evolução são reais, mesmo com todas as evidências fósseis conhecidas pelo homem há mais de 2000 anos. Seguidores do *design* inteligente conservador acreditam que nenhum fator biótico ou abiótico pode guardar a responsabilidade de selecionar qual linhagem de determinada espécie preservará seus genes na população através da transmissão desses às gerações futuras. Esperaria-se que essa seleção tão importante de quais organismos contribuiriam diretamente com a formação da próxima geração fosse regida de forma consciente por uma inteligência superior para que a espécie obtivesse sucesso.

Porém, não é o que se observa. Muitas espécies com o decorrer do tempo não obtêm sucesso, suas populações entram em declínio e até mesmo são extintas. Como poderia uma inteligência perfeita selecionar os melhores espécimes como protagonistas para reprodução e as gerações futuras desses cruzamentos perfeitamente guiados não obterem sucesso? No meio natural as populações declinam e extinções ocorrem porque a seleção natural não tem um objetivo final como tem um projetista. A seleção natural não prepara organismos para o futuro. Muito pelo contrário, ela produz indivíduos novos baseada nas pressões de seleção bióticas ou abióticas sofridas pelos espécimes das gerações passadas. Assim, os organismos atuais estão adaptados a um conjunto de fatores que fizeram com que seus progenitores obtivessem oportunidade de reprodução no passado. Se tal conjunto de fatores (temperatura, predadores, disponibilidade de alimentos, etc.) se alterarem em demasia muitos indivíduos morrerão e a geração atual terá menores taxas de

participação na reprodução e sua população diminuirá. Caso um projetista estivesse selecionando os melhores animais para reprodução e projetando a prole resultante para ambientes específicos, as gerações futuras seriam perfeitas como criação. Assim, todas as espécies do planeta estariam fadadas a nunca serem extintas, visto que sempre estariam em um estágio ótimo de adaptação àquele ambiente para o qual foram desenhadas.

Alguns crentes do *design* inteligente confirmam essa teoria fantasiosa de que as espécies criadas pelo projetista nunca são extintas. Mas a extinção é uma realidade absoluta. Atualmente estima-se que 99,9% de todas as espécies que habitaram o planeta Terra em algum momento já foram extintas. Para comprovarmos a extinção como fato basta analisarmos os fósseis encontrados ao redor do mundo e constatar que não existem mais animais como aqueles impressos nas rochas hoje em dia, ou seja, aquelas espécies deixaram de existir, foram extintas. Nem todas as extinções são tão antigas assim. O tigre-da-Tasmânia (*Thylacinus cynocephalus*), por exemplo, foi extinto por volta de 1936. A existência desse marsupial não é comprovada por rochas de milhões de anos com impressões do esqueleto, algo difícil de imaginar para algumas pessoas. Há, no entanto, registros de arquivos dos zoológicos que expunham os espécimes e há, inclusive, muitos registros fotográficos da década de 30, quando, aliás, não existia sequer tecnologia de edição de fotos para ludibriar leigos. Outros exemplos de extinções recentes são o quagga (*Equus quagga quagga*) extinto em 1883; o tigre-de-Java (*Panthera tigris sondaica*) extinto em 1994; o íbex-dos-pirineus (*Capra pyrenaica pyrenaica*) extinto em 2000; o rinoceronte-negro-ocidental (*Diceros bicornis longipes*) extinto em 2011. Todos com registros fotográficos.

Quando se fala de seleção natural logo imaginamos presas fugindo de predadores e predadores capturando suas presas nas savanas africanas. Contudo a seleção natural atua sobre qualquer organismo vivo e já atuou diretamente sobre você. Não se culpe por não lembrar desse evento tão marcante na sua vida, aliás, ninguém pode culpá-lo, afinal, você nem mesmo possuía um sistema nervoso para armazenar tal fenômeno. Estamos falando da seleção ocorrida no interior do aparelho reprodutor de sua mãe sobre os espermatozoides de seu pai antes de sua concepção.

A seleção natural sobre as células germinativas masculinas de todos os vertebrados é extrema. Na espécie humana apenas aproximadamente 1% dos cerca de 200 a 500 milhões de espermatozoides ejaculados na vagina penetra a cérvix uterina (ou colo do útero) e alcançam a luz do corpo do útero. O ambiente intravaginal é agressivo para os espermatozoides, quanto mais tempo o ejaculado permanecer nesse local maior será a probabilidade de morte espermática. A acidez vaginal em conjunto com as secreções de sua microbiota quando em contato por muito tempo com o ejaculado acabam por acidificar o líquido seminal, que é responsável pela manutenção do pH ideal para conservação da integridade dos espermatozoides na vagina. Além disso, a mucosa vaginal apresenta células de defesa, anticorpos e enzimas que auxiliam na proteção do sistema reprodutor contra a invasão de agentes estranhos, entre eles os espermatozoides. Quando há contaminação vaginal por microrganismos intestinais, que por ventura escorram do ânus para a vagina, o tempo que os espermatozoides resistem na vagina diminui muito. Isso ocorre mais frequentemente em quadrúpedes, visto que qualquer vazamento pelo ânus escorre e por ação da gravidade alcança a vulva, que por sua vez dispõe-se ventralmente ao ânus. Onde o *designer* estaria com a cabeça quando vislumbrou tal disposição? Por esses motivos, os espermatozoides buscam ativamente sair do ambiente vaginal. A cérvix representa um estreitamento da extremidade ventral (ou caudal, em quadrúpedes) do útero ao longo do qual passa o canal cervical do útero, que liga o corpo do mesmo à vagina. Esse estreitamento é um grande obstáculo que os espermatozoides têm que vencer para sair da vagina e acessar o útero: o canal cervical do útero é muito estreito e limita a livre passagem dos espermatozoides. Porém, no

período próximo da ovulação (o termo mais adequado seria oocitação) a ação dos hormônios FSH e LH² faz com que a passagem dos espermatozoides fique facilitada, esses hormônios atuam sobre as glândulas cervicais tornando suas secreções mais fluidas, dessa forma os gametas masculinos podem transpor a cérvix, através do canal cervical. Após a oocitação as secreções se tornam menos fluidas novamente. No caso de fecundação e gravidez a ação do hormônio progesterona torna as secreções das glândulas cervicais muito mais viscosas. Essas secreções literalmente entopem o canal cervical do útero e selam a câmara uterina durante a prenhez, nesse período nada deve entrar ou sair do útero.

A seleção de espermatozoides continua no corpo do útero. Nesse local os gametas deverão se deslocar continuamente durante cerca de 7 horas (na espécie humana). Ao contrário do que a maioria pensa, o útero não tem conteúdo fluido e abundante, ele é um órgão seco. Dessa forma os gametas masculinos devem nadar imersos na fina camada de secreções das glândulas uterinas que embebem sua mucosa interna. Ao longo desse trajeto viscoso e árduo a maioria não resiste e morre. Nesse percurso também ocorre uma forma importante de seleção: a capacitação. Espermatozoides recém ejaculados não têm capacidade de fertilizar oócitos. O deslocamento dos gametas rente ao endométrio e principalmente à mucosa da tuba uterina faz com que haja fricção do acrossomo do espermatozoide contra o epitélio dessas mucosas, que contém substâncias que auxiliam quimicamente a capacitação, assim algumas proteínas e glicoproteínas são removidas do acrossomo. Quando capacitados, os espermatozoides que chegam à ampola da tuba uterina, local onde ocorre a fecundação da maioria dos mamíferos, podem começar a investir contra o *cumulus oophorus* e a *corona radiata*³ do oócito secundário, que foi ovulado (oocitado) horas antes pelo ovário. Para que ocorra a fecundação o acrossomo dos espermatozoides deve sofrer perfurações e liberar enzimas que abrirão caminho nas camadas externas que protegem o oócito secundário, a esse processo dá-se o nome de reação acrossômica.

Assim, para que ocorra a reação acrossômica, deve ocorrer antes a capacitação dos gametas masculinos. Os espermatozoides que chegarem ao local da fecundação sem terem se capacitado devidamente morrerão tentando penetrar a zona pelúcida do oócito secundário. Não poderá ocorrer penetração, visto que os acrossomos ainda estão cheios de proteínas e glicoproteínas que os deixam mais resistentes e dificultam a formação de poros por onde passariam as enzimas responsáveis por fragilizar a zona pelúcida. Na espécie humana, dos cerca de 500 milhões de espermatozoides ejaculados, apenas de 300 a 500 chegam à tuba uterina e somente um (ou dois no caso de gêmeos univitelinos) fertiliza o único gameta feminino oocitado (na grande maioria das vezes). A maior parcela dos espermatozoides morre na vagina e quase todos os outros morrem no útero, bem longe de chegar ao local da fertilização.

Dessa forma, podemos constatar que para haver a formação de um novo zigoto/embrião deve haver antes uma seleção rígida pelo trato reprodutor feminino de um espermatozoide que seja morfológicamente adequado, forte, ágil e vigoroso. Todos os outros morrem pelo caminho. Se há um *designer* celeste que planeja tudo referente à vida na Terra seria de se esperar que para sua obra ser totalmente perfeita ela deveria ser economicamente eficiente. Por que, então, os machos perfeitos, supostamente criados e selecionados por ele para a reprodução, gastam tanto de sua preciosa energia produzindo espermatozoides imperfeitos a ponto de serem tão ineficientes em cumprir sua função essencial: fecundar um oócito?

²FSH: Hormônio Folículo Estimulante; LH: Hormônio Luteinizante.

³Cumulus oophorus e corona radiata são camadas de várias células da granulosa que se desprenderam da parede interna do folículo secundário no momento da ovulação. Essas células da granulosa se dispõem ao redor do oócito e, além de atuarem na proteção do gameta feminino e seleção de gametas masculinos, também garantem o aporte energético/hormonal no período entre a ovulação do oócito e a nidação do embrião.

Alguns criacionistas, quase todos eles na verdade, dizem que tentar interpretar os desígnios do criador é impossível. Por essa razão, definir por que o projeto de fecundação dos vertebrados foi criado dessa forma não é possível para uma releitura humana. Contraditoriamente, adeptos do criacionismo fundaram uma nova hipótese que trata justamente disso: desvendar os desígnios divinos através da falsa ciência praticada pelo *design* inteligente. Por outro lado, a ciência sim nos permite trazer luzes acerca do surgimento da forma de fecundação apresentada pela maioria dos vertebrados, entre eles, nós, humanos.

Nos primórdios da evolução do dimorfismo entre os gametas todos eles eram iguais e a fecundação ocorria no ambiente aquático, fora do corpo de qualquer um dos parceiros. Os gametas eram liberados na água e todos nadavam livremente, cada um em busca de outro gameta para servir de parceiro no evento da fecundação. Não havia distinção entre gametas masculinos e femininos; a rigor, não havia ao menos distinção entre sexos, uma vez que não havia produção diferenciada de gametas, todos os indivíduos possuíam o mesmo sexo, nem masculino nem feminino. Imagine que esses organismos ancestrais isogaméticos produziam gametas morfológicamente semelhantes, mas com algum grau de variação em seus tamanhos, assim como os narizes dos seus amigos: alguns são pequenos, outros intermediários e alguns são grandes, ainda assim todos são narizes e servem para a mesma função. Cada um dos gametas envolvidos numa fertilização contribuía com 50% do material genético e 50% da reserva energética para o novo embrião, isso se os dois gametas fossem exatamente do mesmo tamanho.

Caso um gameta tivesse metade do tamanho do gameta do parceiro ele ainda contribuiria com 50% do material genético, mas com apenas 33% da reserva energética. Isso representa uma vantagem para o organismo que se especializasse em produzir gametas cada vez menores, visto que lhe sobriaria mais reserva energética para investir em um número maior de gametas quando comparado ao parceiro que produzisse gametas grandes. Partindo-se da máxima que na natureza qualquer recurso passível de ser explorado por seres vivos assim o será, os organismos que produziam gametas pequenos tinham nos gametas grandes um recurso a ser explorado. Impossível não perceber nesse cenário uma relação de parasitismo surgindo. Os gametas pequenos contribuiriam com pouca energia para o embrião formado e isto não implicaria em dano algum à prole, porque o outro parceiro já depositara um excedente energético por sua conta. Ainda assim, os gametas pequenos continuariam passando metade da carga gênica do organismo genitor à geração seguinte. Logo, a população teria, a cada geração, uma tendência maior a formar gametas ou grandes ou pequenos, visto que os embriões gerados receberiam metade dos genes de organismos de gametas grandes e a outra metade de organismos de gametas pequenos.

Os gametas pequenos eram produzidos em uma escala muito maior, fato decorrente da economia de energia proporcionada pela produção de células germinativas menores. Eles nadavam ativamente em busca de um gameta grande que representasse um maior aporte energético para o embrião formado. O número de gametas pequenos superava o de gametas grandes a cada evento reprodutivo, por isso a probabilidade de haver fertilização entre gametas pequenos e grandes era maior. Fecundações entre dois gametas grandes eram possíveis, mas a óbvia vantagem energética e de tamanho do indivíduo gerado seria anulada pelo número elevado de indivíduos menores, mas que também alcançariam a reprodução gerando um número maior de descendentes. Com isso, a fecundação entre dois gametas grandes estaria fadada a desaparecer.

Esse processo ocorreu geração após geração e os resultados se acumularam de forma que a diferenciação entre os gametas se estabeleceu de maneira irreversível. Você já deve ter percebido: os gametas menores são os ancestrais dos

espermatozoides, os maiores são os oócitos primitivos. Os organismos que se especializaram na produção de gametas pequenos foram os primeiros machos e os que se especializaram na produção de gametas grandes foram as primeiras fêmeas, a partir daqui podemos chamá-los assim.

A cada evento reprodutivo os oócitos e os espermatozoides eram lançados na água e começava a busca por parceiros. Os espermatozoides evoluíram no sentido de buscar e identificar um gameta adequado para produção de uma prole viável. Como ele poderia prever o futuro da prole? O espermatozoide vivente é fruto da seleção passada de espermatozoides anteriores. Sua linhagem foi a sobrevivente de várias outras que apenas fertilizavam gametas pequenos e grandes. Os que fertilizavam outros gametas pequenos no passado isogamético sucumbiram, pois o início do desenvolvimento da prole tinha um *deficit* energético considerável, que poderia representar um atraso de crescimento, por exemplo. Assim, os outros indivíduos da geração chegavam mais rápido à idade adulta e reproduziam mais vezes. Dessa forma, apenas produtores de gametas pequenos que eram aptos a identificar um bom gameta grande seguiram na composição da espécie e a característica de buscar e identificar um gameta grande e vigoroso permaneceu. Já que espermatozoides eram tão bons em buscar ativamente e identificar parceiros, os oócitos que poupavam a energia da natação e ficavam imóveis foram selecionados, pois eram maiores que a média e ao serem fertilizados geravam embriões com mais reserva energética para o início e manutenção do desenvolvimento embrionário. Assim, a cada geração os espermatozoides se tornaram mais ativos e os oócitos menos ativos, menos numerosos e, conseqüentemente, maiores.

No início da história evolutiva do dimorfismo sexual as células germinativas ancestrais dos espermatozoides eram as responsáveis por selecionar os gametas parceiros, só investiam na fertilização de células tão maiores quanto fosse possível. Porém, com incontáveis gerações de incremento na atividade dos espermatozoides e no tamanho dos oócitos, houve uma inversão na atividade de seleção. Com o crescimento progressivo dos oócitos geração após geração, os que ofereciam alguma resistência à penetração dos espermatozoides, evitando a fertilização por gametas fracos, doentes ou malformados, produziam embriões com maiores vantagens na sobrevivência e que tinham mais chances de alcançar a reprodução quando na fase adulta, o que representa manter essa característica no pangenoma⁴ da espécie. Assim, as várias camadas de células observadas nos oócitos secundários da espécie humana atualmente são justificadas. As camadas de células do *cumulus oophorus*, da *corona radiata* e a formação glicoproteica da zona pelúcida são obstáculos que os espermatozoides devem ser capazes de transpor antes da fertilização efetiva, dessa forma servem como método de seleção do espermatozoide mais apto para fecundação.

Tratamos sobre o processo de fertilização e sobre o surgimento dos sexos, mas e quanto à reprodução sexuada, como ela teria surgido? E a resposta é: não sabemos! Ainda não há consenso na comunidade científica sobre as condições que levaram ao surgimento da reprodução sexuada. Pode parecer óbvio que a reprodução sexuada surgiu para aumentar a variabilidade genética dos organismos, mas não é assim tão simples. A física nos diz que para toda causa há uma consequência e que todas as causas vêm antes das consequências invariavelmente. A variabilidade genética é uma consequência secundária à reprodução sexuada e não uma causa. Do ponto de vista energético não valeria a pena trocar um tipo de reprodução que resulta numa geração que tem 100% dos genes idênticos aos dos pais por outra que despense mais tempo e energia para que seja realizada e que, além disso, resulte numa prole que tenha apenas 50% do material genético dos genitores.

⁴Pangenoma: o conjunto de todo material genético pertencente à determinada espécie.

Genoma: o conjunto de todo material genético pertencente a um indivíduo.

Alguns pesquisadores aceitam que o surgimento da reprodução sexuada tenha ocorrido como resposta a pressões impostas por parasitos. Se a população de uma espécie é composta apenas por clones, ou seja, por espécimes com genomas idênticos, quando (ou se) um parasito adquire a capacidade de matar um indivíduo ele tem potencial de matar toda a espécie. Assim, a mistura dos conjuntos individuais de genes proporcionaria o surgimento de novos subtipos de genes (alelos) que confeririam características mais variadas para a população. Dessa forma, a espécie parasita quando adquirisse a capacidade de matar um indivíduo não teria potencial tão letal para matar a população inteira de hospedeiros. Essa proposta explica como a seleção atuaria em longo prazo, mas ela é falha em explicar qual vantagem imediata o sexo proporcionaria aos organismos que se especializassem na reprodução sexuada. A seleção natural não tem um objetivo, ela atua apenas nas gerações presentes, não nas gerações futuras. Os organismos que estrearam o sexo têm que ter tido uma vantagem imediata para que esse hábito reprodutivo dispendioso fosse selecionado em detrimento da reprodução assexuada, muito mais econômica. Atualmente ainda não temos uma resposta completa para como surgiu a reprodução sexuada, talvez ela venha com o tempo através de cientistas que ainda estão em formação. Quem sabe você não tenha essa resposta num futuro próximo?

Talvez alguém possa ter ficado decepcionado com essa abordagem científica de elementos tão presentes no seu cotidiano. Talvez a simples história da cegonha continue atraindo algumas pessoas. Ou a de que um projetista espe(a)cial tenha planejado todo o processo a partir do zero. Porém, ainda assim, continuarão não explicando coisa alguma, continuarão sendo apenas fábulas e mitos sem a mínima função de nos fazer compreender como funciona o mundo à nossa volta. Histórias assim deixam muitas questões em aberto e não nos instigam a buscar informações novas para preencher as lacunas que faltam. Todavia o método científico da busca incessante de respostas para perguntas ainda não respondidas impulsiona o conhecimento adiante. Não devemos, enquanto cientistas ou apenas curiosos, ter medo de admitir quando não conhecemos uma resposta. Devemos buscar as respostas ou então replicarmos a dúvida de forma que ela instigue a pesquisa por algum outro cientista. Assim, logo a verdade aparecerá. Analisando-se o processo conceitual por essa perspectiva biológica esperamos facilitar a compreensão de que o que parece inquestionavelmente perfeito pode não ser. O processo de fertilização não foi projetado por ninguém ele surgiu através de seleção natural.

SOBRE MOTORES, PANDAS E BAMBUS

Passemos agora ao segundo exemplo, aquele menos corriqueiro para a maioria do público, que nos ajudará a entender os equívocos dos postulados do *design* inteligente.

A termodinâmica é uma seção do conteúdo programático de quase todos os cursos de física, sejam do ensino médio ou do ensino superior. Como parte do estudo fundamental da termodinâmica, muitos professores de física ensinam os princípios da famosa máquina térmica de Carnot, dentre os quais um dogmatiza que nenhuma máquina térmica é capaz de alcançar o rendimento total. Até o ano de 1824, a comunidade científica acreditava ser possível a construção de uma máquina térmica capaz de converter em trabalho toda energia de abastecimento da máquina. Nessa época o engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot publicou sua única obra: *Reflexões sobre Potência Motriz do Fogo e Máquinas Próprias para Aumentar essa Potência*, na qual apresenta o modelo teórico para uma máquina térmica capaz de atuar com rendimento máximo (digamos 45%), mas nunca com rendimento total (100%). A máquina de Carnot atua sob a influência de duas fontes de calor, uma mais quente e uma mais fria. A fonte quente emite energia

para a substância de trabalho que transforma o calor em trabalho ao mesmo tempo que deixa escapar parte da energia absorvida para o reservatório frio, perdendo energia em forma de calor. O modelo de Carnot, até o momento, expressa a maneira como uma determinada máquina atingirá seu rendimento máximo, assim, se um motor atinge rendimento de 40% atuando segundo o postulado de Carnot, ele não poderá atingir rendimentos superiores a 40% de nenhuma outra forma conhecida pelo homem. A única forma de uma máquina térmica atingir seu rendimento total (100%) seria com uma fonte fria que atingisse e mantivesse o zero absoluto (0°K), o que violaria a 2ª lei da termodinâmica.

De fato, nenhum motor térmico ou a combustão construído pelo ser humano é dotado de um rendimento total, na verdade o rendimento desses equipamentos é muito baixo. Contudo, o ser humano já tem tecnologia suficiente para construir máquinas simples com rendimento muitíssimo superior ao das máquinas térmicas e de combustão.

Enquanto a maioria dos físicos e engenheiros da primeira metade do século XIX estava ocupada em aumentar a eficiência dos motores térmicos e a combustão, um físico inglês chamado Michael Faraday estava prestes a fazer uma descoberta que revolucionaria o mundo.

Em 1821 Faraday publicou uma obra intitulada *Rotação eletromagnética* na qual elaborou as bases para transformação da energia elétrica em energia mecânica e, com isso, o funcionamento dos motores elétricos. O primeiro motor elétrico surgiu em 1866, inventado pelo industrial alemão Werner von Siemens, porém seu invento possuía alto custo de fabricação, baixo rendimento e era frágil. Mesmo com tantos pontos negativos o motor de Siemens tinha potenciais vantagens sobre as máquinas térmicas, a tração animal, os moinhos de vento e de água. Uma reação natural da comunidade científica ao motor de corrente contínua de Siemens foi a concentração de esforços visando aperfeiçoar o seu projeto. Os três principais impulsionadores desses esforços foram Galileu Ferraris, Nikola Tesla e Mikhail Dolivo-Dobrowolsky. Em 1889 o engenheiro eletricitista russo Dobrowolsky patenteou um motor trifásico de corrente alternada, em 1891 o equipamento já era produzido em larga escala e era capaz de transmitir energia elétrica a uma distância de aproximadamente 175 Km com rendimento aproximado de 80%. Os motores elétricos hoje em dia são capazes de atingir facilmente rendimentos superiores a 90% e entre os mais eficientes há os que atingem quase 98% de rendimento máximo.

Os motores foram aperfeiçoados cada vez mais pela humanidade visando impulsionar o desenvolvimento da civilização automatizada da forma mais eficaz possível. Em pouco tempo o ser humano passou a deixar de usar a tração animal para se utilizar de motores com 98% de rendimento, passando por várias etapas intermediárias, é claro.

Adeptos da hipótese do *design* inteligente veem todos os organismos vivos como projetos de sucesso desenvolvidos por um criador, meras máquinas que provam sua maestria em construir. Ora! Se o homem desenvolveu máquinas com rendimentos que se aproximam de 100% espera-se que todas as máquinas desenvolvidas pelo *designer* inteligente também alcancem esse nível de desempenho. Mas, de novo, não é o que se observa.

Como os motores já mencionados, os animais também precisam de combustível. Aqui interpreta-se combustível como a fonte energética bruta do sistema, seja ele natural ou artificial. E nisso as máquinas humanas não diferem muito das supostas máquinas divinas. No caso dos motores temos lenha, gasolina, querosene, eletricidade. Já no caso dos animais o combustível é o alimento que consomem e lhes dá energia para funcionarem e sobreviverem. No entanto, alguns animais, ao contrário do que se esperaria de um projeto perfeito, são extremamente ineficientes na tarefa de extrair energia de seus alimentos. É verdade que alguns são extremamente eficientes. Entre os mamíferos, aqueles que se alimentam de vegetais absorvem consideravelmente menos energia do alimento do que aqueles que se alimentam de outros animais. Os ursos, por exemplo, digerem e absorvem 93% (*Ursus americanus*) e 95% (*Ursus arctos* e *Ursus*

maritimus) da matéria orgânica seca consumida. Ainda entre os carnívoros, os guepardos (*Acinonyx jubatus*) têm digestibilidade de matéria seca em torno de 87%, já a onça-pintada (*Panthera onca*) e o tigre-siberiano (*Panthera tigris altaica*) absorvem em média 88% da matéria seca ingerida. Mas as maiores eficiências não significam um ponto a favor dos adeptos do *design* inteligente, muito pelo contrário. Como máquinas projetadas por uma inteligência superior não conseguem superar o aproveitamento de combustível das máquinas projetadas por humanos?

Os maiores exemplos de ineficiência são os apresentados pelos herbívoros. Uma vez que estes animais não apresentam mecanismos próprios para quebrar as ligações de celulose da parede celular vegetal e, assim, transformar matéria vegetal complexa em açúcares simples, eles dependem de microrganismos simbiotes que quebram a matéria vegetal no interior de seus tratos digestórios, e disponibilizam-na de uma forma que possa ser absorvida. Porém, esses microrganismos ao desempenharem esse papel não têm um rendimento total, ou seja, nem toda a matéria orgânica é transformada por eles em carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos. Dessa forma, há perda na eficiência da digestibilidade final desses animais. O hipopótamo (*Hippopotamus amphibius*), por exemplo, apresenta digestibilidade de matéria seca de 45% e a zebra (*Equus grevyi*) apenas cerca de 40%.

Ao longo das gerações houve, porém, seleção dos herbívoros que apresentavam variações anatômicas que proporcionavam um maior rendimento na digestibilidade. Dentre os herbívoros, os ruminantes possuem as maiores taxas de aproveitamento de matéria vegetal. Isso se deve às adaptações apresentadas por seu sistema digestório, dentre eles: musculatura mastigatória bem desenvolvida e irrigada; dentição hipsodonte⁵; língua musculosa e queratinizada; glândulas salivares bem desenvolvidas; estômago policavitário; movimentos de antiperistalse, que redirecionam o alimento de volta à cavidade oral para uma segunda mastigação no processo de ruminação; intestinos delgado e grosso com comprimento relativo maior do que o apresentado por espécies não ruminantes. Mas esse incremento na absorção do alimento não é suficiente para se equiparar com a dos carnívoros já mencionados. Antílopes possuem taxas de digestibilidade de cerca de 50% e gazelas de aproximadamente 60%. Experimentos com girafas em cativeiro sugerem absorção de até 75% do alimento consumido.

Como já exposto, a busca por rendimentos cada vez maiores dos motores de fabricação humana produziu motores mais eficazes, mas também produziu um número muito maior de projetos falhos; mais frágeis; caros demais ou, quem sabe, que nunca vieram a ser produzidos em massa, esquecidos nos porões de algum gênio incompreendido. Quando um projeto se mostra promissor na substituição de uma tecnologia já existente o projetista se concentra na melhoria deste projeto, não perde tempo criando métodos totalmente novos, nem volta a utilizar métodos totalmente ultrapassados que já se mostraram ineficientes. Além disso, nenhum gerente de produção de respeito destina um projeto ruim ou falho para a fabricação em larga escala. Assim, um produto tende à melhoria de seus atributos. Mas isso vale apenas para projetistas humanos.

Ao que parece o suposto *designer* inteligente não segue essa lógica. Ele pôs em fabricação vários projetos ineficientes a ponto de aproveitar menos de 50% da energia captada e pôs em fabricação várias versões que parecem ser apenas testes de motores antigos em chassi e carenagens mais avançadas. Nenhum de seus projetos vertebrados evidencia melhor essa interpretação do que os pandas.

⁵Tipo de dentição caracterizada por dentes molares com coroas altas. Típica de animais herbívoros.

Pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) são ursos e, como qualquer urso, fazem parte de Ursidae, um grupo taxonômico conhecido como família, que agrupa animais com características em comum. Todos os membros de Ursidae têm carne em sua dieta exceto os pandas, que são herbívoros estritos especializados em comer bambu, o qual compõe 99% da dieta desses animais na natureza. Essa característica específica traz algumas adversidades à tarefa de ser um urso-panda. Enquanto outros membros dessa família extraem grandes quantidades de energia do alimento (carne) os pandas podem chegar ao extremo de aproveitarem apenas cerca de 9% da energia consumida. Para tentar contornar essa situação os pandas despendem de 10 a 14 horas do dia se alimentando, consumindo cerca de 6% de seu peso em bambu em um único dia. Mesmo com tamanha quantidade de bambu sendo consumida, a absorção da energia continua sendo escassa, isso porque o sistema digestório dos pandas não é apropriado para o processamento de matéria vegetal e sim de carne, como os dos outros membros de Ursidae.

É verdade que os ursos-panda têm várias adaptações ao herbivorismo. Dentre as mais conhecidas está o famoso “polegar do panda”, que na verdade não é um polegar. Sequer dedo é! Na verdade, esse apêndice do pulso dos pandas que lhes é tão útil na apreensão dos talos de bambu é uma projeção óssea do carpo, de um pequeno osso chamado sesamoide radial. Em outras espécies de ursos o sesamoide radial é diminuto e indistinguível à superfície externa do corpo, já nos pandas o sesamoide radial é maior e alongado, medindo aproximadamente 35 mm, se dispõe justaposto medialmente ao primeiro metacarpiano e a uma primeira abordagem pode facilmente ser confundido com um osso metacarpiano extra. Recobrimo o sesamoide radial há alguns tendões, hipoderme e derme. Protegendo a projeção formada pelo sesamoide radial (o “polegar do panda”) há um prolongamento ininterrupto do coxim metacárpico em direção ao carpo. Essa camada de pele espessa impede lesões causadas pelo atrito da face palmar do membro com o chão ou com as hastes duras de bambu.

O formato arredondado característico de sua cabeça, o qual passa uma impressão amigável ao semblante dos pandas, é resultante da musculatura mastigatória bem desenvolvida, representada principalmente por três pares de músculos. Essa musculatura também se enquadra entre as principais adaptações dos pandas ao herbivorismo. Como sua dieta é composta de material rígido e firme, esses animais desenvolveram ao longo de gerações selecionadas naturalmente uma musculatura potente o bastante para arrancar pedaços de bambus e triturá-los minimamente antes da deglutição. Os músculos temporais são extremamente desenvolvidos, sua estrutura multipenada proporciona elevação suave da mandíbula, mas com grande pressão. O músculo zigomaticomandibular é totalmente ocultado pelo masseter e pelo arco zigomático, ainda assim é amplamente desenvolvido quando comparado ao de outros mamíferos, auxiliando também no fechamento da boca. O músculo masseter, assim como os outros, é muito desenvolvido, sua potência é relativamente menor que a proporcionada pelo músculo temporal, mas esse músculo gera movimentos rápidos e repetidos de elevação da mandíbula. O masseter costuma ser mais desenvolvido em ruminantes e outros herbívoros, como os equídeos, e geralmente é menos desenvolvido em Carnívora, isso se justifica pelo fato de herbívoros passarem grandes períodos mastigando o alimento e precisarem de musculatura resistente para tanta movimentação da mandíbula. Por outro lado, animais da ordem Carnívora tendem a possuir músculos temporais mais desenvolvidos, visto que sua mordida é forte a ponto de quebrar e perfurar ossos e dilacerar a carne no momento da caçada. Nesse sentido, é como se os pandas acumulassem adaptações tanto do hábito carnívoro, de quando seus ancestrais se alimentavam de carne, quanto do hábito herbívoro, adquiridas mais recentemente em sua história evolutiva.

Mas do que adianta adaptações músculo-esqueléticas tão específicas para a dieta composta quase exclusiva-

mente por bambus se poucas adaptações se acumulam no sistema digestório? Aqui temos mais uma evidência de que a seleção natural é cega e não opera visando nenhum objetivo final. Como já mencionado, o sistema digestório dos pandas é extremamente ineficiente na tarefa de processar e absorver alimento.

A expectativa para o sistema digestório de um mamífero estritamente herbívoro é que seus segmentos intestinais sejam muito extensos e/ou que possua câmaras fermentativas que abriguem uma microbiota específica responsável por degradar o conteúdo vegetal da ingesta. Por exemplo, bovídeos possuem uma câmara fermentativa, o rúmen, situada mais cranialmente no sistema gastrointestinal. Como o alimento torna-se disponível para absorção tão precocemente no interior do trato gastrointestinal desses animais, a porção absorptiva, representada pelos intestinos delgado e grosso, tende a ser mais longa, absorvendo ao máximo do alimento solubilizado. Nos equídeos, por outro lado, o intestino delgado é muito mais curto em relação ao dos bovídeos, pois a degradação do alimento ocorre numa posição mais caudal do trato gastrointestinal. É no intestino grosso, precisamente no ceco, onde a matéria vegetal é solubilizada nesses animais, o ceco é super-distendido e serve como câmara fermentativa. Dessa forma, o quilo (bolo alimentar misturado às secreções do estômago, fígado e pâncreas) transita pelo intestino delgado sem grandes possibilidades de ser devidamente absorvido. A absorção ocorre efetivamente apenas na passagem da matéria vegetal pelo ceco.

Ao contrário do esperado para uma espécie herbívora, os pandas não apresentam nenhuma dessas características básicas para uma adequada solubilização e conseqüente absorção eficiente da matéria vegetal ingerida. Seu estômago é simples (unicavitário) e a diferença mais marcante em comparação com outros membros de Ursidae é o antro pilórico e piloro mais espessos e móveis, adaptados para amassar e misturar folhas e caules com as secreções gástricas, antes de esse material grosseiro ser lançado ao duodeno. Os intestinos são curtos, como os observados em outros ursos. Não há nenhuma câmara de fermentação, não há sequer ceco, o mesmo é observado em outros ursos, que têm cecos curtos ou ausentes. Os cólons também são curtos com a particularidade de possuírem um diâmetro e uma área um pouco maiores que os de outros ursos. Cólons mais curtos abrigam uma comunidade de microrganismos menos numerosa, o que dificulta a quebra da celulose e hemicelulose das células vegetais. A microbiota intestinal de pandas não é exclusiva, visto que ursos pardos (*Ursus arctus*) alimentados com dietas vegetarianas apresentam fezes contendo uma microbiota similar àquela observada nas fezes de pandas. Além disso, tal microbiota é diferente da apresentada por herbívoros típicos, ou seja, possui menor capacidade de processar matéria vegetal.

A falta de órgão de fermentação e microbiota adequada, estômago simples e intestinos curtos fazem com que muito da dieta dos pandas não seja devidamente absorvida. Essas características anatômicas se refletem muito no comportamento desses animais em seu ambiente natural.

A nutrição é baseada em conteúdo celular, uma vez que as paredes celulares não são digeridas. Isso resulta em muita matéria não digerida, que pode ser facilmente identificada nas fezes desses animais. Devido ao baixo comprimento do cólon e seu conteúdo microbiano ineficiente as fezes passam rapidamente pelo intestino grosso, o que leva os pandas a defecarem até 40 vezes por dia. O tempo de passagem da dieta por todo o trato digestório é entre 5 a 11 horas, um período similar ao de ursos-pardos (*Ursus arctus*), ursos-negros (*Ursus americanus*) e ursos-polares (*Ursus maritimus*).

Com a má absorção, os pandas têm pouca energia para suas atividades diárias, por isso eles direcionam suas ações para aportar mais nutrientes e economizar energia ao máximo, ou seja, passam a maior parte da vida comendo e dormindo e no tempo que passam acordados sua atividade é mínima e seu metabolismo é lento. Não hibernam, pois não há período prévio de acúmulo de energia. Por isso, preferem terrenos planos e evitam transitar em terrenos íngre-

mes, que exigem mais força muscular para o deslocamento. Os ursos-panda têm interação bastante limitada, o que evita disputas corpo a corpo por alimento, território e fêmeas. O olfato tem grande importância na demarcação do território e na identificação do período reprodutivo. Assim, mesmo se encontrando poucas vezes, sua comunicação é efetiva.

A reprodução dos pandas também é um grande exemplo de economia energética. O acasalamento ocorre na primavera do hemisfério norte, entre fevereiro e maio. As fêmeas ficam receptivas à reprodução (estro) apenas uma vez por ano e permanecem no estro durante cerca de 24 a 72 horas. Os machos também têm “janelas” de superprodução de esperma de melhor qualidade (mais espermatozoides, com maior motilidade e com menos deformidades), dessa forma a energia para produção de espermatozoides melhores e mais dispendiosos é desviada quando não há fêmeas para fertilizar. O processo reprodutivo pode resultar em um ou dois filhotes, porém geralmente apenas o mais forte dos dois sobrevive, visto que os nutrientes da mãe são escassos demais para sustentar dois filhotes em crescimento. Em suma, se algum *designer* projetou os ursos-panda ele o fez a partir de um projeto de carnívoro. Instalou o *hardware* de carnívoro, mas o *software* de herbívoro.

Ao observar um panda segurando firmemente brotos de bambu com a projeção do sesamoide radial e os mastigando sem dificuldades é fácil crer que este animal deve ter sido criado para esses fins. Os brotos se encaixam tão perfeitamente no “polegar” e a mandíbula quebra e esmaga com tanta facilidade aquele material duro, parece perfeito demais. Mas ao se estudar a anatomia do sistema digestório de um urso-panda o projeto inteligente se torna estúpido. O que parecia desenhado criteriosamente parece, agora, ter sido desenhado para outras funções não desempenhadas pela máquina em questão.

A hipótese dos inteligentistas se baseia na aparente perfeição apresentada pelas formas de vida da Terra para afirmar que todo ser vivo foi deliberadamente planejado por alguém. Mas basta uma simples análise sob perspectiva biológica para percebermos que a dita perfeição apresenta alguns, ou vários, pontos fracos. Nosso mundo apresenta tantos “projetos” de animais ilógicos que é impossível afirmar que um ser inteligente os projetou individualmente. Creio que seria uma ofensa a essa inteligência soberana.

Ou isso, ou o mundo faz parte de um grande parque de competições onde vários *designers*, ainda não tão inteligentes, em formação, inscrevem seus vários projetos acadêmicos para disputar qual se destaca sobre os demais. Quem estaria ganhando? E mais importante: quais seriam os critérios de decisão? O número total de indivíduos? Ou o tempo geral do projeto da competição? Ou a mudança que o projeto proporcionou ao ambiente em comum de todos os outros projetos? Parece uma ideia insana demais para ser levada a sério, mas faria mais sentido do que atribuir tantos projetos grosseiros a um único engenheiro tão colossal quanto exaltam os defensores do *design* inteligente.

Grandes arquitetos perderiam toda a credibilidade se viesse à tona algum escândalo de que todas as suas obras-primas já existiam antes de eles próprios declararem a autoria. Os adeptos do *design* inteligente, no intuito de ressaltar o arquiteto celestial, podem acabar rebaixando sua imagem divina se o público leigo acabar acordando para o fato de que a evolução é uma realidade cientificamente comprovada e que ocorre lentamente todos os dias em todo o mundo, quiçá em todo o universo. Por isso, os devotos de uma entidade criadora não devem buscar provar cientificamente suas crenças. Os que assim fazem assinam sua declaração pagã, pois sua fé revela-se fraca. O bom fiel crê sem provas, pois tem fé, sua crença é e deve ser cega. A ciência não funciona assim e por isso não serve para cultuar a existência de deus, o arquiteto de obras prontas e assinadas pela seleção natural.

BIBLIOGRAFIA

- ABATUROV, B. D. et al. Nutritional estimate of populations of some wild free-ranging African ungulates in grassland (Nechisar national park, Ethiopia) in dry season. **Ecography**, v. 18, n. 2, p. 164-172, 1995.
- AITKEN-PALMER, C. et al. Protracted Reproductive Seasonality in the Male Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*) Reflected by Patterns in Androgen Profiles, Ejaculate Characteristics, and Selected Behaviors. **Biology of Reproduction**, v. 86, n. 6, p. 195–195, 2012.
- ARAÚJO, K. V. et al. Comparação da técnica do saco de náilon móvel com o método de coleta total para determinar a digestibilidade dos nutrientes de alimentos volumosos em eqüinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 3, p. 752–761, 2000.
- BAER, D. J.; OFTEDAL, O. T.; Fahey Jr., G. C. Feed selection and digestibility by captive giraffe. **Zoo Biology**, v. 4, n. 1, p. 57–64, 1985.
- CLAUSS, M.; KLEFFNER, H.; KIENZLE, E. Carnivorous mammals: Nutrient digestibility and energy evaluation. **Zoo Biology**, v. 29, n. 6, p. 687–704, 2010.
- DIERENFELD, E. S. et al. Utilization of bamboo by the giant panda. **The Journal of nutrition**, v. 112, n. 4, p. 636–641, 1982.
- DYCK, M. G.; MORIN, P. *In vivo* digestibility trials of a captive polar bear (*Ursus maritimus*) feeding on harp seal (*Pagophilus groenlandicus*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 43, n. 4, p. 759–767, 2011.
- FINLEY, T. G. et al. Energy digestibility of giant pandas on bamboo-only and on supplemented diets. **Zoo Biology**, v. 30, n. 2, p. 121–133, 2011.
- FRIAS, M. A. S.; TINOCO, L. S. L. Conservação de energia em motores trifásicos. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 243-247, 2010.
- LEY, R. E. et al. Worlds within worlds: evolution of the vertebrate gut microbiota. **Nature reviews. Microbiology**, v. 6, n. 10, p. 776–788, 2008.
- LIU, X. et al. Study of crude protein intake and growth response in captive subadult giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*). **Zoo Biology**, v. 21, n. 3, p. 223–232, 2002.
- NASCIMENTO, P. M. **Criacionismo [6] – O contra-ataque (Parte 1)**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OIIcIdKI35s>>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- NASCIMENTO, P. M. **Criacionismo [7] – Mudando de nome**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3Vb6rHWOyX4>>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- PARKER, G. A; BAKER, R. R.; SMITH, V. G. The origin and evolution of gamete dimorphism and the male-female phenomenon. **Journal of theoretical biology**, v. 36, n. 3, p. 529–553, 1972.

PRITCHARD, G. T.; ROBBINS, C. T. Digestive and metabolic efficiencies of grizzly and black bears. **Canadian Journal of Zoology**, v. 68, n. 8, p. 1645–1651, 1990.

SCHWAB, C.; GÄNZLE, M. Comparative analysis of fecal microbiota and intestinal microbial metabolic activity in captive polar bears. **Canadian journal of microbiology**, v. 57, n. 3, p. 177–185, 2011.

TYRRELL, H. F.; MOE, P. W. Effect of intake on digestive efficiency. **Journal of Dairy Science**, v. 58, n. 8, p. 1151–1163, 1975.

VESTER, B. M. et al. Nutrient digestibility and fecal characteristics are different among captive exotic felids fed a beef-based raw diet. **Zoo Biology**, v. 27, n. 2, p. 126–136, 2008.

CAPÍTULO VII - UMA BREVE HISTÓRIA SOBRE A EVOLUÇÃO DE PLANTAS

Vera Lucia Bobrowski

Com certeza vocês já ouviram falar ou leram sobre a teoria da Evolução ou sobre Charles Darwin, o criador dessa teoria, um naturalista britânico que viajou ao redor do mundo a bordo do navio Beagle, numa viagem exploratória de cinco anos financiada pela coroa britânica. Durante o passeio, visitou a África, a América do Sul e a Oceania, fazendo observações e resultou na teoria da Evolução. Porém, causa surpresa que em seu livro “*A Origem das Espécies*” Charles Darwin mal tenha mencionado a evolução das plantas, afinal, as plantas são metade das formas vivas que existem no planeta. Neste texto descrevemos de forma resumida este processo.

DO MAR PARA A TERRA

Alguns pré-requisitos essenciais foram necessários para a colonização da Terra pelas plantas como: a formação de ambientes estáveis perto da costa, formação de solo e desenvolvimento de condições climáticas e atmosféricas favoráveis.

Durante o Cambriano e Ordoviciano (541-443 milhões de anos - Ma)² uma combinação de mudanças climáticas e de configuração continental resultou em inundações generalizadas seguidas de um período de glaciação ao final do Ordoviciano (485-443 Ma) o que levou a uma dramática redução nos níveis do oceano e expôs grandes áreas da plataforma continental. Evidências geológicas indicam que ao final deste período perfis de solos bem estabelecidos haviam sido desenvolvidos, a partir de processos como entrada de elementos vindos da atmosfera, chuva ácida e produção de elementos orgânicos por microrganismos primordiais e líquens.

Evidências de órgãos de plantas vasculares como caule e estruturas reprodutivas começam a aparecer nos registros fósseis do início do Devoniano (aprox. 419 Ma) em quantidade e localidades suficientes para sugerirem que a vegetação de pequeno porte de plantas vasculares se estabeleceu em muitos continentes neste período.

Várias linhas de evidências, incluindo análises bioquímicas, morfológicas e moleculares em combinação com registros fósseis, indicam que as plantas terrestres evoluíram de algas verdes dos quais apresentam caracteres sinapomórficos³ como plasmodesmos juntando o citoplasma de células adjacentes, crescimento ramificado apical e retenção da oosfera no organismo parental. Estas algas verdes ancestrais viviam às margens de poços ou charcos e a partir deste ambiente, muitas vezes seco outras vezes úmido, é que as plantas primitivas passaram da água para a terra.

Evidências experimentais baseadas em análises de DNA indicam que as plantas avasculares (que não apresentam tecidos condutores de água ou alimento) evoluíram milhões de anos antes da primeira planta vascular (com traqueídeos especializados).

¹Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas.

²As datações absolutas dos períodos geológicos têm por base o “The Geologic Time Scale 2012” de Gradstein et al. Ma=milhões de anos. Os sessenta e cinco milhões de anos do Terciário para fins de padronização equivalem ao início do período Paleógeno.

³São caracteres homólogos derivados, herdados de um ancestral comum recente.

Durante o período que abrange o início do Devoniano até o final do Carbonífero (395-290 Ma), a vegetação global evoluiu daquela dominada por pequenas plantas, a maioria com menos de 1m de altura, para ecossistemas totalmente arborizados com árvores chegando até 35m. As novas adaptações para colonização da terra como um sistema vascular mais avançado, caule, raízes, casca e folhas, tornaram-se aparentes entre 390 e 360 Ma, assim como o ciclo de vida das plantas se tornou mais refinado com a evolução do esporângio produzindo esporos com dois tamanhos diferentes (megásporo e micrósporo) e a evolução de óvulos com capas (sementes), grãos de pólen e mecanismos de recepção de pólen. A formação da cutícula pode ter sido a característica adaptativa adquirida mais importante e mais antiga. Ela reveste as folhas e o caule e tem como uma das suas funções prevenir que a água do corpo da planta seja perdida por evaporação, água esta que os seus ancestrais aquáticos obtinham com facilidade.

A reconstrução biogeográfica em escala ampla indica no início do carbonífero a presença de seis biomas: tropical úmido (sem estação de seca), subtropical úmido (seco no inverno), deserto subtropical, de regiões quentes, de regiões frias e o glacial.

O SURGIMENTO DAS SEMENTES

As plantas com sementes são o grupo mais recente de plantas vasculares a surgir e foi durante o Permiano (290-248 Ma) que ocorreram as maiores transformações na vegetação global com o surgimento e irradiação generalizada destas plantas. Neste período, a maior evolução floral ocorreu em um cenário de crescente calor global e aridez, frequentemente descrito com a troca do efeito “geladeira” para o efeito “estufa”.

A maioria das plantas ancestrais com sementes produzia lenho, o que as permitia crescer mais do que as demais no seu entorno e competir por luz para sua sobrevivência, porém nem todas as plantas com sementes são lenhosas. Os grupos sobreviventes destas plantas com sementes são as gimnospermas e as angiospermas. As sementes são um ganho importante, pois são bem protegidas e capazes de longos períodos de latência, germinando quando as condições são propícias.

A evolução e irradiação das coníferas ocorrem no Triássico (aprox. 252-201 Ma) e nove famílias de coníferas que tiveram sua irradiação neste período ainda hoje tem uma ampla cobertura global.

Diferentemente das gimnospermas, as angiospermas possuem flores e frutos, os óvulos das sementes são protegidos por carpelos e apresentam dupla fertilização, o que resulta na produção de um zigoto e de um endosperma triploide. As primeiras angiospermas têm registro fóssil de aproximadamente 145 Ma, isto é, início do Cretáceo. Sua rápida diversificação (100 Ma) levou-as ao domínio global no início do Terciário (aprox. 65 Ma). As evidências das primeiras angiospermas incluem fósseis de flores, frutos, pólen e folhas. E isto, em termos evolutivos, indica que as angiospermas são o grupo mais recente a aparecer no registro fóssil, aproximadamente 300 Ma depois que as primeiras plantas vasculares e 220 Ma depois que as primeiras plantas com sementes.

Várias hipóteses têm sido sugeridas para esta aparição tardia nos registros fósseis, incluindo um viés do registro fóssil, uma situação particular de condições ambientais e/ou interações bióticas que levaram à sua evolução tardia. Duas interações bióticas de particular interesse são a coevolução das plantas com flores com dinossauros que pastavam e com grupos de insetos polinizadores.

Há um aumento de evidências que sugerem que as primeiras angiospermas eram ervas e pequenos arbustos,

assim como a filogenia molecular indica que provavelmente as monocotiledôneas evoluíram para dicotiledôneas bem como que as angiospermas evoluíram provavelmente de um único ancestral comum.

Mas a pergunta de como as angiospermas apareceram ainda permanece sem uma resposta definitiva. O próprio Darwin se referiu a isto como “um mistério abominável”. Estudos moleculares e paleobotânicos estão sendo realizados na busca por novos dados e na determinação de como interpretá-los de forma eficiente.

A EVOLUÇÃO DE PLANTAS CULTIVADAS

A transição de sociedades de caçadores-coletores para a agricultura ocorreu independentemente mais de uma dúzia de vezes em diferentes regiões do mundo de 10-12.000 anos (a.C.) para tempos mais recentes como 3000-4000 anos atrás. Teorias para explicar as origens e o desenvolvimento da agricultura têm considerado fatores que vão desde mudanças no clima e expansão da população para práticas culturais e crenças religiosas. Estas populações com seus deslocamentos frequentes iniciaram um incipiente manejo de recursos naturais, protegendo espécies de interesse e interferindo na densidade e distribuição destas conforme suas necessidades. Iniciou então o processo de domesticação de plantas cultivadas, que pode ser definido de forma geral como um processo de modificação do genótipo de maneira contínua, evolutiva, efetuado inconscientemente pelo homem e sob a ação dos mesmos processos evolutivos que ocorreram ao longo da evolução das plantas em geral.

Surge então a síndrome de domesticação, que é um conjunto de caracteres que distinguem as plantas cultivadas dos seus ancestrais silvestres. As principais características envolvidas com esta síndrome são a supressão do mecanismo de dispersão de sementes, modificações de forma (alometria e condensação), germinação mais rápida e uniforme, sincronismo no florescimento e na maturação, mudanças bioquímicas, gigantismo de órgãos, ciclo de vida e sistemas de hibridação.

Os centros de origem das plantas cultivadas foram estabelecidos pelo botânico russo Nicolai Vavilov, em sua expedição de estudo ao redor do mundo para observação da diversidade genética das plantas cultivadas, bem como de seus parentes silvestres. Ele observou que em certas áreas do mundo havia maior diversidade de plantas cultivadas do que em outras, concluindo que a maior diversidade genética corresponde aos centros de origem. Sua proposta inicial foi de cinco centros de origem e após foram adicionados três centros e três subcentros ou centros secundários. Os centros de origem de Vavilov compreendem: centro chinês; centro indiano; centro asiático central; centro asiático menor; centro Mediterrâneo; centro Etiópia; centro América Central; centro América do Sul (peruano–boliviano–equatoriano); subcentro América do Sul (Chile); e subcentro América do Sul (brasileiro–paraguaio).

Alguns alimentos do nosso dia a dia como o arroz e a cana-de-açúcar têm seu centro de origem no Centro indiano, o feijão e o milho no Centro América Central, a batata no centro América do Sul e o trigo no asiático central.

Dentre os principais processos evolutivos que atuaram durante a evolução e domesticação de plantas cultivadas abordaremos a mutação, seleção, deriva genética, hibridação e fluxo gênico ou migração.

MUTAÇÃO

A mutação é o fator evolutivo que cria variabilidade genética. Definida como qualquer alteração na sequência de nucleotídeos (mutação gênica), bem como na estrutura e número de cromossomos (mutação cromossômica) que podem ocorrer de forma espontânea ou induzida.

No trigo, arroz e milho, várias mutações gênicas permitiram a aquisição de uma maior capacidade de retenção dos grãos na inflorescência tornando-as mais dependentes da ação humana para sua dispersão. A uva também sofreu diversas modificações como, por exemplo, a inserção do elemento *Gret1* na região promotora do gene que permitiu o surgimento da coloração vermelha nos frutos.

HIBRIDAÇÃO E FLUXO GÊNICO

A hibridação natural, definida como acasalamento natural entre indivíduos de duas ou mais populações, é reconhecido como um dos eventos de maior importância evolutiva em plantas cultivadas. Tem sido demonstrada a ocorrência de fluxo gênico entre espécies cultivadas e seus parentes silvestres. Porém este fluxo gênico pode levar à heterose e à competição, e muitas vezes causar a desestruturação genética do táxon e sua extinção por reduzir a aptidão do parente silvestre e comprometer sua persistência em seu habitat natural.

Quando duas espécies hibridizam e o genoma do híbrido é duplicado, ocorre a formação de um aloploidio³. Esse processo pode se repetir de modo a formar espécies com mais de dois genomas diferentes. Contudo, além da aloploidia na especiação híbrida, os autopoliploides⁴ também tiveram um papel muito importante na evolução das plantas cultivadas, pois o efeito “giga” proporcionado pelo aumento no número de cópias dos cromossomos em uma mesma célula ajudou o homem a selecionar plantas com raízes, tubérculos, caules, folhas, frutos e sementes maiores. No entanto, estes poliploides⁵ podem ter uma redução na fertilidade devido a problemas no pareamento da meiose e por consequência problemas na formação de gametas, o que explica o fato da autopoliploidia espontânea estar associada às plantas de reprodução vegetativa. Aqui merecem destaque a batata como um tetraplóide e o trigo como um hexaplóide.

Aproximadamente 40% das espécies cultivadas são poliploides, como alfafa (*Medicago sativa* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.), batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), café (*Coffea arabica* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), fumo (*Nicotiana tabacum* L.), morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), dentre outras.

MIGRAÇÃO

A migração, assim como a dispersão, também contribui para a ocorrência de fluxo gênico, permitindo a ação de outros mecanismos como hibridação, deriva genética e seleção natural, no processo de adaptação e especiação. Em espécies cultivadas, estes processos podem ocorrer devido à pressão de seleção, como condições de solo e climáticas diferentes daquelas apresentadas em seus centros de origem, diversidade ou domesticação.

³Organismo que possui dois ou mais genomas provenientes de espécies distintas, repetidas duas ou mais vezes.

⁴Organismo que possui um único genoma repetido mais de duas vezes.

⁵Célula que possui um ou mais genomas repetidos várias vezes. Organismo que possui essas células.

Um exemplo é o do abacate (*Persea americana* Mill.), que teve seu ancestral disperso durante a era glacial no Pleistoceno, chegando a atingir a Mesoamérica através da movimentação de grandes mamíferos e dispersão natural das sementes, foi domesticado após a chegada do homem às Américas.

Outro exemplo é o que ocorreu com o café (*Coffea arabica* L.), pois a partir da ação da migração, os eventos de seleção negativa e deriva genética levaram ao estreitamento da base genética da espécie, constituindo apenas dois conjuntos gênicos bem definidos originários de duas subpopulações silvestres do sudoeste da Etiópia.

SELEÇÃO

A seleção é a ação natural ou artificial exercida em uma determinada população capaz de alterar suas frequências alélicas, pelo fato de apenas alguns indivíduos contribuírem para a formação das gerações seguintes. Na seleção natural, a adaptação ao ambiente é decorrente do sucesso reprodutivo diferencial dos indivíduos. Dentre muitos exemplos, o milho (*Zea mays* L.) tem sido selecionado para não dispersão das sementes e, no tomate (*Solanum lycopersicum* L.), os frutos sofreram um aumento no tamanho ao longo de sua domesticação, quando comparado com seu ancestral mais próximo, *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* L.

DERIVA GENÉTICA

A deriva genética pode ser definida como a mudança ao acaso da frequência dos alelos de uma população relativos a uma característica em estudo. Os efeitos da deriva genética são maiores em populações pequenas e podem ocorrer tanto em populações naturais quanto em espécies cultivadas.

No caso de plantas cultivadas, a deriva genética pode ser representada de duas formas: **efeito do fundador**, quando a domesticação ocorre fora do seu centro de origem, geralmente devido ao fato de uma amostra de poucos indivíduos ser levada para colonizar outra região e; **gargalo genético** (*bottleneck*), quando o tamanho de uma população é reduzido drasticamente devido ao processo de seleção feito pelo homem, sendo que sua recomposição é feita a partir de poucos indivíduos e uma quantidade restrita de alelos.

Um exemplo é o do tomate (*Solanum lycopersicum* L.), planta autógama⁶, domesticada no México, fora de seu centro de origem na América do Sul, no qual a principal consequência foi o estreitamento da base genética. Processo similar foi observado na soja (*Glycine max* (L.) Merr), pois poucos acessos foram trazidos da Ásia e introduzidos na América do Norte.

No caso do milho (*Zea mays* L.), este efeito de deriva foi menos pronunciado, uma vez que esta é uma espécie alógama⁷ e foi domesticada no seu próprio centro de origem. Isso fez com que o milho preservasse perto de 75% da sua diversidade genética original, quando comparado com seus parentes silvestres. Hoje se tem o reconhecimento de que muitas das espécies vegetais chamadas de diploides seriam na realidade poliploides antigos ou residuais havendo uma aceitação geral de que a poliploidia antiga é muita ampla e que muitas, senão a grande maioria das espécies, apesar de

⁶Espécies de plantas se reproduzem predominantemente por autofecundação.

⁷Espécies de plantas se reproduzem predominantemente por intercruzamento, isto é, fecundação cruzada.

se comportarem como diploides (tanto cromossomicamente como pelo tipo de herança de seus genes) são na verdade paleopoliploides.

EPIGENÉTICA: MEMÓRIA CELULAR

Estudos epigenéticos são recentes, porém nos últimos anos as técnicas de biologia molecular têm permitido maior compreensão dos mecanismos responsáveis pelo fenômeno. Podemos definir a epigenética como modificações do genoma que são herdadas pelas próximas gerações, mas que não alteram a sequência do DNA.

Até a pouco tempo considerava-se que os genes eram os únicos responsáveis por passar as características biológicas de uma geração à outra. Porém, esse conceito tem mudado e hoje sabemos que variações não-genéticas (ou epigenéticas) adquiridas durante a vida de um organismo podem frequentemente ser passadas aos seus descendentes. Existem evidências científicas que mostram que o ambiente pode modificar o funcionamento de seus genes.

As mudanças epigenéticas são baseadas em um conjunto de processos moleculares que podem ativar, reduzir ou desabilitar completamente as atividades de genes. Atualmente conhecemos numerosos mecanismos de herança epigenética, sendo os mais estudados a modificação de histonas, a metilação do DNA e RNAs não codificantes. Estas alterações na cromatina (DNA associado a histonas) podem ser repassadas a novas células, por mitose, ou ainda a células germinativas, por meiose. Seria o que alguns autores chamam de memória celular hereditária.

A herança epigenética é relativamente comum em plantas. A linhagem germinativa em plantas provém de células somáticas que são expostas a estímulos ambientais durante o desenvolvimento. Muitas espécies de plantas podem ser propagadas vegetativamente (por clonagem-mitose) sem que passem pela formação de células germinativas, possibilitando assim a passagem destas alterações epigenéticas adquiridas a suas descendentes.

Um exemplo bem estudado é o sinal para a vernalização⁸, o qual é percebido na atividade mitótica que formará o meristema da inflorescência, e este é herdado através das divisões mitóticas, mas não é transmitida através da meiose.

Atualmente existem evidências sólidas de que muitas respostas a estresses bióticos e abióticos envolvem variações epigenéticas. Vários estudos têm demonstrado a ocorrência de alterações epigenéticas em resposta ao estresse ou no período de recuperação do estresse.

Normalmente durante a meiose (formação de gametas) ocorre uma reprogramação da memória da célula por alterações na cromatina (DNA associado a histonas) em que são apagadas as informações obtidas por efeito ambiental, permitindo assim um novo ajuste. Porém quando isto não acontece há formação dos epialelos⁹ e estas informações são repassadas às células germinativas e, por conseguinte, à descendência.

O conceito de que características adaptativas podem ser adquiridas por um indivíduo e herdadas por sua descendência foi proposta por Jean-Baptiste Lamarck, mas mais tarde deu lugar à teoria da evolução darwiniana. Após a descoberta de mecanismos epigenéticos de herança e estudos recentes que sugerem especialmente herança transgeracional de características adquiridas em plantas e animais, a teoria lamarckiana, antes abandonada, recuperou atenção limitada. Embora existam muitos mais exemplos em plantas, sugerindo herança de características induzidas pelo meio

⁸Tratamento no qual sementes ou plantas novas são submetidas a baixas temperaturas para que floresçam precocemente.

⁹Quando os fenótipos dos genes são herdados, e surgem fenótipos alternativos de um locus estes são designados como epialelos.

ambiente, a questão ainda permanece controversa. Isto ocorre principalmente devido à ausência de mecanismos moleculares definidos que podem ser responsáveis por estes fenômenos, embora o envolvimento de regulação epigenética tenha sido sugerido repetidamente.

A integração da epigenética e genética será fundamental para todas as áreas da biologia, incluindo a evolução.

BIBLIOGRAFIA

- BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas** / editores técnicos, – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 909 p.
- BURGGREN, W. W. Epigenetics as a source of variation in comparative animal physiology – or – Lamarck is lookin' pretty good these days. **The Journal of Experimental Biology**, v. 217, p. 682-689, 2014.
- DEMPEWOLF, H. et al. Reproductive Isolation during Domestication. **The Plant Cell**, v. 24, p. 2710–2717, 2012.
- DORWEILER, J. E.; DOEBLEY, J. Developmental analysis of teosinte glume Architecture1: a key locus in the evolution of Maize (Poaceae). **American Journal of Botany**, v. 84, n.10, p. 1313–1322, 1997.
- FREEMAN, S.; HERRON, J. C. **Análise Evolutiva**. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- FUTUYMA, D. J. **Evolutionary biology**. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2006. 763 p.
- HANCOCK, J. F. Contributions of domesticated plant studies to our understanding of plant evolution. **Annals of Botany**, v.96, p. 953-963, 2005.
- HEARD, E.; MARTIENSSEN, R. A., Transgenerational Epigenetic Inheritance: Myths and Mechanisms. **Cell**, v. 157, p. 95-109, 2014.
- IWASAKI, M.; PASZKOWSKI, J. Epigenetic memory in plants. **The EMBO Journal**, v. 33, n. 18, p.1987-1998, 2014.
- JABLONKA, E.; LAMB, M. L. The inheritance of aquired epigenetic variations. **Journal of Theoretical Biology**, v.139, p. 69-83, 1989.
- LANDMAN, O. E. The inheritance of aquired characteristics. **Annual Review of Genetics**, v. 25, p. 1-20, 1991.
- MASUELLI, R. W.; MARFIL, C. F. Variabilidad epigenética en plantas y evolución. **Journal of basic and applied genetics**, v. 22, n. 1, 2011.
- MEYER, R. S.; DUVAL, A. E.; JENSEN, H. R. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. **New Phytologist**, v. 196, p. 29–48, 2012.
- MILLER A. J., GROSS, B. L. From forest to field: perennial fruit crop domestication. **American Journal of Botany**, v. 98, n. 9, p. 1389–1414, 2011.
- PICKERSGILL, B. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics. **Annals of Botany**, v. 100, p. 925–940, 2007.
- RIDLEY, M. **Evolução**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 752 p.
- ROBERTSON, M.; RICHARDS, C. Non-genetic inheritance in evolutionary theory the importance of plant studies. **De Gruyter Open**, v. 2, p. 3–11, 2015.

SADAVA, D. et al. **Vida: a ciência da Biologia** – Vol. 2. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 877 p.

SKINNER, M. K. Environmental Epigenetics and a Unified Theory of the Molecular Aspects of Evolution: A Neo-Lamarckian Concept that Facilitates Neo-Darwinian Evolution. **Genome Biology and Evolution**, v. 7, n. 5, p.1296–1302, 2015.

vSOLTIS, D. E.; VISGER, C. J.; SOLTIS, P. S. The polyploidy revolution then...and now: Stebbins revisited. **American Journal of Botany**, v. 101, n. 7, p. 1057–1078, 2014.

STEBBINS, G. L. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 72, p. 824–832, 1985.

VEASEY, E. A., et al. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1218-1228, 2011.

WILLIS, K. J.; MCELWAIN, J. C. **The evolution of plantas**, New York: Oxford university Press Inc., 2002. 378 p.

CAPÍTULO VIII - COEVOLUÇÃO: LIÇÕES SOBRE A NATUREZA, O TEMPO E O VALOR DA CIÊNCIA

Jeferson Vizentin-Bugoni¹

UMA FLOR BIZARRA, DÚVIDAS E UMA PREDIÇÃO

Por volta de 1862, o naturalista britânico Charles Darwin recebeu uma caixa enviada por outro naturalista, James Bateman, contendo uma orquídea proveniente de Madagascar conhecida como orquídea-estrela, cujo nome científico é *Angraecum sesquipedale*. Seria mais uma orquídea qualquer coletada em uma floresta tropical se não fosse por um fato intrigante: a orquídea possuía tubo anexo à flor que media mais de 30 cm de comprimento.

Darwin intrigou-se: como sua teoria evolutiva de 1859 poderia, através da seleção natural, produzir tamanha bizarrice? Como explicar essa estrutura à luz da **Evolução**? Em suas palavras, Darwin (1962) menciona que “...em Madagascar deve haver alguma mariposa com probóscide tão longa quanto 25 ou 28 cm” o que deveria ser suficiente para alcançar o néctar no fundo do tubo floral. Esta suposição de Darwin foi inspirada pelas suas correspondências com o naturalista alemão Fritz Müller, que viveu no sul do Brasil e mencionou que ali existiam mariposas da família Sphingidae que possuíam línguas (tecnicamente chamadas de probóscides) bastante longas.

Anos mais tarde, em 1867, Alfred Russel Wallace, que junto com Darwin concebeu as bases da teoria evolutiva, também supôs que alguma espécie de mariposa poderia ser o polinizador da orquídea. Wallace havia visitado Madagascar e sabia que lá ocorriam mariposas com línguas longas, mas não longas o suficiente para tomar o néctar no fundo das flores da orquídea-estrela. O néctar é uma solução formada por água e principalmente açúcares, que é geralmente secretado por flores que atraem animais, inclusive mariposas, que ao bebê-lo, se “sujam” de pólen e assim o carregaram de uma flor para a outra. Consequentemente, os polinizadores viabilizam a reprodução da planta através da polinização. Sabendo disso, Darwin e Wallace imaginaram que uma mariposa de língua longa deveria ser a polinizadora desta orquídea.

CIÊNCIA COMO UMA FERRAMENTA PARA COMPREENDER A NATUREZA

A habilidade de imaginar é crucial para as atividades humanas já que é fundamental para antever possibilidades e definir as tomadas de decisão. Dessa forma, a imaginação tem sido uma habilidade essencial para compreender o mundo a nossa volta e, não por acaso, é um componente essencial da ciência. Provavelmente todas as grandes descobertas tenham em algum momento derivado da imaginação associada ao raciocínio perspicaz. Os exemplos disso são diversos: desde a Lei da Gravitação Universal, imaginada por Newton a partir da queda de um objeto (reza a lenda que uma maçã caiu sobre sua cabeça enquanto dormia) até o Princípio de Arquimedes, que imaginou o princípio do empuxo

¹Department of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.

ao tentar descobrir se a coroa de um rei era feita de ouro maciço ou de outro material menos nobre (reza a lenda que, logo após solucionar a questão, saiu nu pelas ruas gritando “Eureka!” que, em grego, significa “Descobri!”).

Na biologia, que é a parte da ciência dedicada a compreender a vida no planeta, não é diferente. Combinando **imaginação, observações de campo e conhecimento prévio** sobre as interações entre plantas e polinizadores, Darwin formulou uma possível resposta provisória (uma **hipótese**) para explicar a existência da corola incrivelmente longa da orquídea de Madagascar. Precisamente, ele hipotetizou que deveria existir algum polinizador (também bizarro!) com um aparelho bucal tão longo quanto o tubo floral da orquídea. Este polinizador seria capaz de alcançar o néctar no fundo do tubo floral da orquídea.

Esta é uma das formas pelas quais se desenvolve a ciência. Com base em observações e imaginação, criam-se cenários possíveis sobre os fatores responsáveis por gerar um determinado padrão. A partir daí, é possível usar um método (que é um dos componentes do que se conhece como **método científico**) para avaliar a confiabilidade das evidências. Este método procura falsear a hipótese, ou seja, provar que ela está errada. Caso não seja possível descartar a hipótese após tentativas rigorosas, ela é aceita como a explicação para um dado fenômeno. Esta explicação é tida então como uma verdade que é provisória e, portanto, pode ser complementada ou substituída por outros testes científicos rigorosos no futuro. Assim é construído o conhecimento científico: acumulando-se evidências que não puderam ser refutadas após diversas tentativas. Essa maneira de buscar a compreensão da natureza e do universo que nos cerca é o que fundamenta as descobertas humanas, desde remédios que curam epidemias e salvam vidas, até a elaboração do foguete que nos levou à lua.

DARWIN E WALLACE ESTAVAM CORRETOS SOBRE A EXISTÊNCIA DA MARIPOSA?

Anos mais tarde, em 1903, outros dois naturalistas, Rotschild e Jordan, coletaram mariposas em Madagascar cujas probóscides eram tão longas quanto 20-30 cm. Eles poderiam ter gritado “Eureka!”. Conforme a predição inicial, essas mariposas possuíam probóscides longas o suficiente para alcançar o néctar daquela orquídea com corola absurdamente profunda! Esta população foi chamada de *Xanthopan morganii praedicta* em referência à predição de Darwin, que conjecturou a existência da mariposa 41 anos antes de sua descoberta, e que ela seria o provável polinizador da orquídea-estrela.

A MARIPOSA LINGUARUDA, A FLOR PROFUNDA E A SELEÇÃO NATURAL

Quais recados valiosos podem ser extraídos dessa história? Por mais complexos, intrincados e aparentemente inexplicáveis que possam parecer os fenômenos apresentados pela natureza, deve haver uma razão lógica que os explique, sem a necessidade de recorrer ao **misticismo** ou à **sobrenaturalidade**. Na biologia, assim como em outras ciências, tais explicações lógicas são testáveis através de métodos rigorosos e, portanto, podem ser confirmadas ou refutadas por meio de observações e raciocínio lógico (método hipotético-dedutivo).

Neste caso, a explicação lógica para a existência da mariposa linguaruda e a flor profunda, na qual Darwin e Wallace basearam-se é a seguinte: em uma população com muitos indivíduos da orquídea, existem alguns cujas flores possuem tubos mais rasos e outros mais profundos. Aquelas mariposas que possuem línguas mais longas conseguirão tomar um maior volume de néctar das flores de toda a população, o que inclui flores com tubos mais rasos e mais

profundos. Isso gera um benefício para as mariposas linguarudas, que, alimentando-se mais, também poderiam reproduzir-se mais, e assim deixar mais descendentes do que aquelas mariposas com línguas curtas que também dependem da orquídea para se alimentar. Dessa forma, com o passar do tempo, indivíduos com línguas longas se tornarão cada vez mais frequentes na população de mariposas. Da mesma forma, as orquídeas com tubos longos se encaixam melhor às mariposas mais linguarudas de forma que existe uma tendência de que sejam mais eficientemente polinizadas e, portanto, a reprodução seja mais bem-sucedida do que daquelas orquídeas de tubos curtos. Com o passar das gerações, tubos cada vez mais longos passariam a predominar na população de plantas. Esse processo gradual de **seleção natural** das flores com corolas progressivamente mais longas e mariposas com línguas progressivamente mais compridas, configuram um exemplo de como ocorre o **processo evolutivo**. Nesse caso a **coevolução** entre planta e polinizador gerou o comprimento incrível de probóscides e tubos florais em Madagascar. Assim ocorre a evolução. É um **processo gradual** que, geração após geração ao longo de décadas, séculos e milênios, permite que as espécies atuais sejam distintas de seus ancestrais. Atualmente sabe-se que existem mecanismos de transferência do conteúdo genético dos progenitores para sua prole que permitem a **herdabilidade** das características entre gerações.

DA INTERAÇÃO MARIPOSA-FLOR AO UNIVERSO

Tomando o dia de hoje como ponto de referência, à medida que nos afastamos do passado, mais imprecisa se torna a nossa capacidade de descrever os eventos que ocorreram. Entretanto, essa “turbidez das águas do passado” pode ser superada pela lógica do método científico tornando possível a compreensão do que aconteceu há milhões de anos atrás. Mais do que isso, a ciência nos permite compreender como o universo organiza-se e funciona e, finalmente, com base nesse conhecimento, prever e até manipular fenômenos no futuro.

Neste contexto, a teoria evolutiva é uma das principais e mais poderosas ferramentas à disposição da humanidade para compreender o que aconteceu no passado e determinou os padrões da natureza que observamos no presente. Através dela, Darwin predisse a existência da mariposa *X. morgannii predicta*, a partir da existência de uma flor. Através dela, os cientistas podem explicar de forma lógica e lúcida os milhares de fósseis de organismos que habitaram o planeta há milhões de anos atrás. Através dela, sabemos hoje como as mais variáveis e espetaculares formas de vida surgiram e se diversificaram no planeta constituindo a natureza que percebemos diante de nossos olhos.

A teoria evolutiva não apenas nos permite compreender o passado e o presente, mas também prever o futuro. Sem bolas de cristal, os biólogos têm utilizado a imaginação, a observação dos fenômenos naturais, a experimentação, a matemática e o conhecimento prévio (como a teoria evolutiva) para projetar os efeitos da atividade humana sobre o futuro do planeta.

Esta compreensão e as evidências que as suportam, constantemente reafirmam que a espécie humana é apenas uma entre as demais espécies e que faz parte de uma imensa rede da vida, em que cada perturbação tem consequências em maior ou menor grau. Essa mesma perspectiva tem levado os cientistas a reconhecer que os impactos da humanidade sobre o planeta estão excedendo a capacidade de recuperação da natureza. Esses impactos derivam principalmente da extinção de espécies, introdução de espécies exóticas e sobre-exploração dos recursos naturais. Esses impactos culminam na perda do funcionamento dos ecossistemas e, conseqüentemente, da provisão de recursos para a espécie humana e para as demais. Neste sentido, reconhecer o valor da ciência e das evidências acumuladas pelos

cientistas sobre os impactos causados pelos seres humanos sobre o ambiente e utilizar o conhecimento existente (como a teoria evolutiva, seu funcionamento e implicações) de maneira lúcida pode definir o futuro do planeta e da nossa própria espécie.

Em suma, a teoria evolutiva é uma janela para o passado, que explica o presente e nos permite projetar o futuro. Ela permite prever desde a existência de uma espécie ainda desconhecida de mariposa, até mesmo catástrofes de proporções planetárias. Mas, mais do que isso, a teoria evolutiva, revelada através do método científico, tem ajudado a humanidade a abandonar as trevas da ignorância e reconhecer que nós humanos não somos o centro do universo e sequer da natureza. Somos uma das partes de um quebra-cabeça automontado ao longo de milhões de anos de processos graduais dirigidos pela seleção natural.

BIBLIOGRAFIA

DARWIN, C. **On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life.** London: John Murray, 1859.

DARWIN, C. **On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects, and on the good effects of intercrossing.** London: John Murray, 1862.

DUNN, R. R. et al. The sixth mass coextinction: are most endangered species parasites and mutualists? **Proceeding of the Royal Society B.** v. 276, p. 3037-3045, 2009.

ROTHSCHILD, L. W.; JORDAN, K. A. Revision of the *Lepidopterous* family Sphingidae. **Novitateszoologicae.** v. IX. Supplement, v. 2, 1903.

WASSERTHAL, L. T. The pollinators of Malagasy star orchids *Angraecum sesquipedale*, *A. sororium* and *A. compactum* and the evolution of extremely long spurs by pollinator shift. **Botanica Acta,** v. 110, p. 343-359, 1997.

CAPÍTULO IX - A PALEONTOLOGIA E AS EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO NO TEMPO GEOLÓGICO

Thamiris Barbosa dos Santos¹; José Eduardo Figueiredo Dornelles²

UMA BREVE HISTÓRIA

Os achados fósseis na natureza, ou seja, evidências físico-químicas de organismos antigos ou pré-históricos que já viveram na Terra e pereceram durante o tempo, foram relatados por muitos povos durante a história da vida. Algumas civilizações davam a esses achados explicações de que seres mitológicos haviam povoado nosso planeta. Porém, séculos mais tarde, cientistas puderam provar que esses seres na verdade eram organismos que já existiram.

Na Grécia e Roma antigas houve relatos de achados de ossos gigantes, os quais geralmente eram associados a seres que viveram em um tempo muito mais antigo. Para tentar explicar esses achados, as primeiras histórias mitológicas começaram a surgir na tentativa de explicar esses seres gigantes que habitaram a Terra e logo essas histórias se espalharam pela Europa.

Durante a Idade Média (500~1450 d.C.), os achados fósseis eram associados a obras de entidades malignas ou então criações em pedra feitas por deuses. Na cultura inglesa, eram considerados restos de animais que pereceram no grande dilúvio e que não foram salvos pela Arca de Noé. Já na cultura chinesa, os fósseis eram considerados como restos de corpos de dragões.

Apesar de todas as histórias mitológicas e fantásticas criadas para esses achados no passado, Leonardo da Vinci foi um estudioso no século XV que observava a natureza e relatou que achados de animais marinhos nas montanhas poderiam ser restos de animais que viveram em um tempo geológico muito distante, durante o qual aquelas regiões montanhosas eram ocupadas pelo mar.

Durante os anos de 1700, os números de coletas de fósseis aumentaram gradativamente, isso devido ao melhor entendimento do que seriam aquelas formas encontradas. Nesta mesma época, cientistas começaram a classificar e descrever fósseis de forma mais detalhada.

Georges Cuvier³, em 1769, introduziu os fósseis nas classificações zoológicas, mostrando a progressiva relação entre as camadas deposicionais em rochas e os seus vestígios paleontológicos. Da mesma forma, comparava as anatomias de animais atuais e extintos e as utilizava em reconstruções dos esqueletos fósseis que estudava, mostrando, assim, a importância da relação funcional e anatômica de cada organismo extinto que descobria. O termo “paleontologia” foi então criado por Cuvier, agora conhecido como o “Pai da Paleontologia”. Para Cuvier, a terra tinha somente alguns

¹Faculdade de Ciências Biológicas – Bacharelado, Universidade Federal de Pelotas.

²Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas.

³Georges Cuvier (Jean Leopold Nicolas Frédéric Cuvier) nasceu em Montbéliard em 23 de agosto de 1769 e faleceu em Paris em 13 de maio de 1832. Historicamente conhecido como um naturalista da primeira metade do século XIX.

milhares de milhões de anos. Ele defendia o catastrofismo⁴, o qual afirma que após eventos de extinção novos organismos eram criados para que houvesse substituição.

Charles Darwin relatou sobre o registro fóssil ser impreciso e falho, isso porque as chances de um organismo se tornar um fóssil é de uma em um milhão. Então, em 1859, Darwin propôs uma ideia gradualista⁵ em que os registros fósseis poderiam mostrar evidências do passado e quando montado um contexto sequencial poderia ilustrar um panorama de mudança evolutiva em escala de tempo geológico, uma ideia de evolução lenta, gradual e contínua. Porém, em 1972, Stephen Jay Gould e Niles Eldredge, paleontólogos evolucionistas, propuseram a teoria do Equilíbrio Pontuado⁶, segundo a qual a evolução ocorre de maneira lenta em alguns períodos sem grandes mudanças, depois é seguido de um período de menor duração e com grandes mudanças, acontecendo em momentos pontuais da história evolutiva.

Atualmente há muitas discussões a respeito de teorias evolutivas levando em conta os fósseis. As teorias de Cuvier, Darwin e Gould-Eldredge forneceram grandes pontos aos cientistas, mostrando que a transição de formas dos organismos no registro fóssil é uma importante ferramenta quando se fala em estudo e pesquisa em evolução.

PALEONTOLOGIA E FOSSILIZAÇÃO

Como anteriormente citado o termo “paleontologia”, foi criado por Georges Cuvier. Do latim *palaio* = antigo, *ontos* = ser e *logos* = estudo, paleontologia significa o estudo dos seres antigos. Dessa forma, um paleontólogo estuda restos ou marcas de seres vivos que de alguma forma deixaram preservados os registros de suas atividades. Esses vestígios são denominados de fósseis⁷.

Processos biológicos, físicos e químicos irão determinar de que forma a fossilização deverá ocorrer. Alguns organismos têm sua preservação facilitada devido a sua constituição. Organismos biomineralizados, ou seja, organismos que produzem minerais, ou aqueles constituídos por materiais orgânicos resistentes são bons exemplos disso. Para que o organismo vivo, constituinte da biocenose, passe por uma série de transformações até o estágio de fóssil, os seus restos orgânicos depositados na tanatocenose devem ser decompostos, principalmente suas partes moles, por bactérias.

⁴Também denominada de “Teoria das Revoluções ou Catástrofes”. Essa teoria busca elucidar os diversos eventos de extinção analisados através de fósseis e estratos geológicos preservados na história geológica da Terra. Essa teoria sustenta o princípio de que a Terra sofreu a ação de episódios catastróficos, como inundações. Tais episódios foram então, capazes de “moldar” as configurações geológicas e biológicas atuais. Segundo Cuvier “essas catástrofes” ou “revoluções”, atingiram determinadas regiões da Terra, promovendo a extinção da fauna e flora locais. Dessa forma, puderam ser estudadas por intermédio de seus registros fósseis em escala de tempo geológico. “As sucessivas faunas na linha do tempo eram explicadas pelo fato de que a região atingida pela catástrofe era repovoada por organismos, que migravam das regiões não atingidas por ela, o que promovia um ‘ciclo de extinção e repovoamento’ o qual ficou registrado nos sedimentos ao longo da história geológica do planeta Terra. A incorporação da teoria catastrofista pelo criacionismo defendido por alguns naturalistas do século XIX promoveram alguns pensamentos com influência religiosa dentre os quais, que a última destas catástrofes havia sido o Dilúvio Bíblico. Tais defensores desta vertente dogmática do catastrofismo postulavam que após a extinção de toda a fauna e flora global, novos organismos eram criados pela ação divina.

⁵Teoria criada pelo naturalista britânico Charles Darwin. O gradualismo ou gradualismo filético defende a hipótese de que o processo evolutivo ocorre por meio de graduais transformações ao longo das diversas gerações de seres vivos. Esse fato, portanto, se configura em um processo evolutivo lento e contínuo, daí o termo gradualismo.

⁶Teoria evolutiva proposta pelos paleontólogos norte-americanos Niles Eldredge e Stephen Jay Gould em 1972, que propõe que a maior parte das populações de organismos de reprodução sexual experimenta pouca mudança ao longo do tempo geológico e, quando mudanças evolutivas no fenótipo ocorrem, elas se dão de forma rara e localizada em eventos rápidos de especiação denominados cladogênese. Fonte: Ernst Mayr, 1992. “Speciational Evolution or Punctuated Equilibria”

⁷O termo fóssil vem do latim *fossilis* = extraído da terra.

Seus tecidos mais resistentes tendem a permanecer por mais tempo no ambiente. Imediatamente é necessário que haja um soterramento rápido de sedimento para que o organismo se mantenha de forma íntegra. A partir dessa etapa tais restos passam a estar inclusos na tafocenose. Em seguida, o cálcio do material ósseo ou de algum outro tipo de tecido (como a celulose, por exemplo) deve sofrer processos de mineralização a partir de componentes minerais presentes no sedimento que, ao percolarem pelas camadas, tendem a impregnar os tecidos com minerais. Esse processo retira paulatinamente as moléculas orgânicas e as substituem por minerais como a sílica. Finalmente, o sedimento em volta do organismo irá sofrer litificação, ou seja, processos irão converter o que antes era sedimento em rocha sedimentar e o fóssil será preservado. Tal processo, denominado de diagênese ou fóssil diagênese⁸, não ocorrerá de maneira rápida. A fóssil diagênese é um processo demorado que ocorre em escala de tempo geológico. Os fósseis até hoje descobertos compõem “a ponta de um *iceberg*”, já que a maior parte da diversidade extinta não foi preservada e, por isso, nunca tomaremos conhecimento sobre ela. Nesse sentido se deve considerar que as etapas do processo de fossilização ocorrem muito raramente. As situações aleatórias nas quais ocorra um rápido soterramento (sem que haja a atuação de bactérias decompositoras ou agentes necrófagos) são raras para que o organismo seja preservado. Devemos ter em mente que muitos táxons viveram no planeta Terra e não deixaram nenhum tipo de registro fóssil.

A fossilização⁹ pode ocorrer de diferentes formas, isso dependerá do meio ambiente em que houve a morte do organismo. Há duas classificações ou denominações quanto aos tipos de fósseis: restos ou vestígios.

Quando fósseis são classificados como restos, isto se deve a preservação de partes mais resistentes do organismo (podendo ser do tipo incrustação¹⁰, permineralização¹¹, recristalização¹², carbonificação¹³ e substituição¹⁴) ou até mesmo de partes moles, as quais são consideradas como eventos extraordinários, pois, após a morte, o organismo deve entrar em processo de decomposição e logo ser soterrado por sedimentos.

Os vestígios são a evidência ou o registro da atividade de organismos que já existiram. Em sua maioria são preservados em estruturas denominadas de moldes, contramoldes ou modelos, icnofósseis¹⁵, coprólitos¹⁶, gastrólitos¹⁷ e até mesmo ovos.

⁸Conjunto de processos geoquímicos que permitem a transformação dos restos orgânicos em restos minerais (no caso denominados de fósseis). A fóssil diagênese ocorre na tafocenose.

⁹Para um achado ser considerado um fóssil, esse deve datar mais de 11.000 anos, portanto, devem ser materiais pré-holocênicos. Os denominados “subfósseis” possuem idade menor que 11.000 anos são, portanto, holocênicos.

¹⁰Quando minerais carreados pela água que percola o sedimento se deposita em torno do material orgânico, revestindo-o. Restos ósseos depositados no interior de cavernas costumam ser revestido dessa forma por minerais com a calcita, pirita, limonita e sílica.

¹¹Processo de mineralização onde minerais transportados pela água preenchem (por percolação) os espaços no interior do tecido orgânico e esses depósitos minerais formam modelos internos das cavidades naturais desses organismos cobertos por sedimentos.

¹²Quando em condições especiais ocorre um rearranjo da estrutura cristalina de um mineral.

¹³Também denominada de “incarbonização” ocorre quando há perda de substâncias voláteis como o oxigênio, hidrogênio e nitrogênio, restando uma delgada e frágil película de carbono.

¹⁴Caso em que o mineral percolante acaba por substituir o material orgânico original durante o processo de fossilização. Ossos quando substituídos por sílica sofrem uma substituição denominada de silicificação.

¹⁵vestígios mineralizados de atividade biológica de organismos pré-holocênicos (gr. *icnos* = traço, *vestigio* + *fossilis* = extraído da terra).

¹⁶fezes fossilizadas.

¹⁷gr. *Gastro*=estômago; *lito* =pedra; normalmente são seixos de variados tamanhos retidos no sistema digestório dos animais que geralmente se posicionam na moela. Substituem ou auxiliam os dentes na trituração dos alimentos e em outras situações podem atuar como lastro de submersão como em alguns crocodilídeos.

E AS EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO?

Na literatura científica há exemplos considerados clássicos e de fácil entendimento a respeito da evolução no registro fóssilífero.

TRANSIÇÃO ÁGUA-TERRA

Neil Shubin em seu livro “A história de quando éramos peixes” explicou sobre os achados fósseis encontrados que deram suporte à teoria de que nós, vertebrados terrestres, somos todos parentes distantes dos peixes. A partir do achado fóssil do *Tiktaalik roseae* (Devoniano, aproximadamente 375 milhões de anos de idade), Shubin o descreveu como um fóssil transicional, o qual se caracteriza tanto como um peixe, pois apresenta barbatana e escamas, quanto um vertebrado terrestre.

Como provar que um peixe que existiu há milhares de anos atrás teria características terrestres? Simples, Shubin comparou algumas de suas características morfológicas com características presentes em animais terrestres, principalmente porque o *Tiktaalik* apresenta uma cabeça chata com os olhos no topo (comparada àquelas de alguns répteis) e a presença de um pescoço funcional (apresentava os ombros bem marcados). Isto provou que, apesar de ser um peixe, este animal compartilhava características dos primeiros organismos tetrápodes que viveram em ambiente terrestre. Este é o registro do primeiro peixe que teria se aventurado a viver em águas mais rasas perto da costa e também poderia erguer seu corpo sobre as suas barbatanas. Através do registro fóssilífero, Shubin pôde provar ser verdadeira a hipótese de que organismos terrestres tiveram sua evolução a partir de ambientes aquáticos.

EVOLUÇÃO DAS AVES

As pessoas que acompanham as notícias de divulgação científica sabem que um dos assuntos mais polêmicos trata sobre aves e dinossauros. Um dos últimos artigos publicados e que causou um certo alvoroço na comunidade científica tem como foco o achado de uma evidência fóssil de um órgão vocal de uma ave do Cretáceo (~66-69 milhões de anos atrás), órgão, este, conhecido como siringe. Mas para tratar melhor do assunto “aves e dinossauros” vamos voltar um pouco no tempo e falar sobre os achados, que ao longo dos anos, corroboraram que as aves são da mesma linhagem evolutiva dos dinossauros.

Em 1860, Thomas Henry Huxley já havia falado na semelhança entre aves e répteis e chegou a criar uma classificação para tal. Porém, no ano de 1861, em um local próximo à Solnhofen na Alemanha, foi descoberto um fóssil de um dinossauro um pouco diferente dos descobertos até então, o *Archaeopteryx lithographica*. Já nas primeiras descrições do fóssil, percebeu-se que o animal em questão possuía características de dinossauros terópodes: apresentava uma longa cauda óssea, três dedos com garras e uma boca repleta de dentes. Porém, o fóssil continha pequenos detalhes peculiares, nunca antes vistos em um dinossauro: anel esclerótico ao redor da órbita, presença de penas e fúrcula, osso formado pela fusão das clavículas (o popularmente conhecido como osso da sorte).

O fóssil do *Archaeopteryx* é considerado como o registro de um dos primeiros dinossauros aviformes, ou seja, é um ponto na história evolutiva em que se comprova a transição entre os répteis e as aves, assim como o *Tiktaalik* se apresenta na transição peixes-anfíbios. Atualmente, a comunidade científica dispõe de mais evidências de fósseis de

dinossauros com penas, sendo comprovado que as aves são parte da linhagem evolutiva dos dinossauros.

É quase inacreditável, porém, que uma parcela surpreendentemente grande da população insista em negar as evidências fósseis. Apesar de todo avanço na visão de vida, parte da população persiste com um pensamento arcaico comparável ao dos povos antepassados que propagavam histórias fantasiosas e mitológicas de seres gigantes que habitaram nosso planeta em tempos antigos. Quando avaliamos as transições morfológicas e anatômicas no tempo geológico profundo, fica clara a constatação de que os fósseis, realidades biológicas de fato, ajudam os pesquisadores a comprovarem os processos evolutivos e mudanças ao longo dos anos. Por isso, há sempre novas pesquisas no meio científico impulsionadas por novos achados fossilizados, que ajudam a corroborar novas hipóteses de como organismos atuais são frutos de mudanças evolutivas ao longo dos milhares de milhões de anos. Subsidiado também pelas novas descobertas fósseis, o pensamento evolutivo avançou, levando a humanidade a um novo nível de compreensão sobre a vida na Terra, incluindo o próprio ser humano.

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, I. S. **Paleontologia**: conceitos e métodos. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 756 p.
- CLARKE, J. A. et al. Fossil Evidence of the Avian Vocal Organ from the Mesozoic. **Nature**, v. 538, n. 7626, p. 502-505, 2016.
- DARWIN, C. **A Origem das Espécies**, São Paulo: Martin Claret, 2014, 556 p.
- DAESCHLER, E. B.; SHUBIN, N. H.; JENKINS Jr., F. A. A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan. **Nature**, v. 440, n. 6, p. 764-771, 2006.
- FERNANDES, A. C. S. Fósseis: Mitos e Folclore. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 28-1, p. 101-115, 2005.
- GEE, H.; HOWLETT, R.; CAMPBELL, P. 15 Evolutionary Gems: A resource from Nature for those wishing to spread awareness of evidence for evolution by natural selection. **Nature**, v. 457, n. 8, p. 1-16, 2009.
- GOULD, S. J. The Evolution of Life on Earth. **Scientific American**. v. 271, n. 4, p. 85 – 91, 1994.
- GOULD, S. J.; ELDREDGE, N. Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. **Paleobiology**, v. 3, n. 2, p. 115-151, 1977.
- GOULD, S. J. The Episodic Nature of Evolutionary Change. In: GOULD, S. J. **The Panda's Thumb**. New York: W. W. Norton & Company, 1980. p. 179-185.
- KING, C. Catastrophism and Evolution. **The American Naturalist**, v. 11, n. 8, p. 449–470, 1877.
- MAYOR, A. **The First Fossil Hunters**: Paleontology in Greek and Roman Times. 1. ed. Princeton: Princeton University Press, 2000. 384 p.
- MAYR, E. Speciation Evolution or Punctuated Equilibria. In: SOMIT, A.; PETERSON, S. **The Dynamics of Evolution**. New York: Cornell University Press, 1992. p. 21-48.
- MILNER, R. **The Encyclopedia of Evolution**. New York: Facts on File, 1990. 445 p.
- SHUBIN, N. **A História de Quando Éramos Peixes**. Chicago: Elsevier, 2008. 191 p.

CAPÍTULO X - EXTINGUIR OU NÃO EXTINGUIR: EIS A QUESTÃO

Simone Baes das Neves¹

Há alguns anos os noticiários anunciaram uma forte ameaça para a exuberante fauna das Ilhas Galápagos: na madrugada do dia 25 de maio o Instituto Geofísico do Equador informou que o vulcão Wolf iniciou uma nova atividade eruptiva. Localizado ao norte da Ilha Isabela, Wolf é o maior vulcão do arquipélago, com 1.710 m de altura e é consideravelmente ativo: sua última erupção foi registrada em agosto de 1982. Isabela é a maior ilha de Galápagos, possui origem vulcânica e sua formação é considerada geologicamente recente (menos de 10 milhões de anos). Por isso, não é surpresa que estes eventos geológicos sejam comuns por lá, ainda mais sendo Isabela uma das mais jovens ilhas, com outros vulcões sobre o seu território e que ainda está em plena formação.

O maior impacto causado por essa notícia deu-se devido à importância do Arquipélago de Galápagos para os naturalistas do mundo todo, importância essa que vem ganhando força desde meados do século XIX com o “pontapé inicial” (certo) de Charles Darwin durante a viagem do *Beagle*. Há um grande número de espécies endêmicas na região e, mais especificamente na Ilha Isabela, a única população conhecida de iguanas rosadas (*Conolophus marthae*). A erupção do vulcão Wolf só não foi mais ameaçadora para esta peculiar espécie porque sua lava percorreu o lado oposto ao do seu hábitat. Ainda assim, pesquisadores afirmam que as explosões terão impacto na flora, fauna e no ambiente marinho nos arredores do vulcão.

A lava expelida naquele dia poderia ter incinerado cada iguana em Galápagos, mas o fato disso não ter ocorrido não significa que elas estão a salvo. Processos de extinção acontecem constantemente como resultado da interação dos organismos com fatores bióticos e abióticos no hábitat onde estão inseridos. Essas interações influenciam direta e indiretamente na sobrevivência das espécies ao longo do tempo, assim como nas adaptações que poderão ou não sofrer, resultando no sucesso evolutivo ou na extinção (sim, a tal seleção natural). No caso dos iguanas, tais interações atuando ao longo de milhares de anos resultaram no contexto que conhecemos hoje: uma distribuição espacial limitada ao ponto de existir apenas uma população ao norte da ilha. Os fatores que podem ter influenciado neste processo são os mais variados possíveis: geografia, disponibilidade de recursos, clima, seleção sexual, interações com outras espécies, etc. e, caso os iguanas sejam desfavorecidos neste contexto ao longo de mais alguns mil anos, possivelmente não existirá um centímetro de pele rosada nas futuras gerações de iguanas. Este tipo de fenômeno sempre existiu e é mais comum do que se possa imaginar, são as chamadas “extinções de fundo” ou *background extinctions*. Isso mesmo, não é uma situação catastrófica exclusiva destes moradores de Galápagos e espero evidenciar isto ao longo deste capítulo.

Podemos criar uma situação hipotética, aparentemente mais “confortável”, para os nossos personagens. Em Galápagos existem outras espécies, como o Iguana “Marinho” (*Amblyrhynchus cristatus*) que, apesar de ter hábitos

¹Programa de Pós-Graduação em Geociências – Paleontologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

terrestres, sua alimentação depende exclusivamente do mar, onde submerge por longos períodos a procura de alimento. Podemos considerar que há cerca de 10 milhões de anos, quando o arquipélago começou a ser formado, todos os iguanas fossem idênticos (por ora os processos que os levaram até a ilha não interferem no exemplo). A partir daí, podemos criar um cenário propício com disponibilidade de nicho, ausência de predadores, ótimo clima para a espécie, ou seja, uma atmosfera perfeita para o desenvolvimento e reprodução. Em suma, refiro-me a um hábitat que favoreça a reprodução constante e uma sequência de gerações de iguanas durante um longo período de tempo. Aparentemente esta situação proporcionaria o sucesso da espécie pelos próximos milhões de anos. Mas, a cada nova geração, mudanças imperceptíveis aos nossos olhos acontecerão. A sucessiva replicação dos genes causará mudanças e mais mudanças surgindo diferentes genótipos, ou seja, novas combinações de genes, que podem ser favorecidos ou desfavorecidos em cada nova prole, resultando em novas características que se diferenciarão também de forma cumulativa. Assim, as primeiras gerações de iguanas podem ser muito parecidas entre si, mas as gerações nascidas três milhões de anos depois poderão ter apenas vestígios das características de suas ancestrais. As diferenças podem ser tantas chegando ao ponto de algumas serem cor-de-rosa e outras não, ou talvez as gerações mais derivadas sequer perpetuem traços fenotípicos da espécie ancestral. Daí em diante as barreiras reprodutivas se encarregarão do resto e, em um processo longo, sem tempo determinado para ser concluído, novas espécies vão surgindo em detrimento do desaparecimento de outras. Este processo é chamado de Extinção Filética ou Pseudoextinção.

Em outras palavras, extinção e especiação caminham de mãos dadas ao longo da história evolutiva do nosso planeta. Porém, como estes eventos poderiam originar organismos com alto grau de complexidade morfológica e fisiológica tal qual conhecemos atualmente? Lembre-se de que não é algo como “macaco se transformando em homem”, ao melhor estilo criacionista. Sugiro que você conte o número de casas decimais que existe em 10 milhões de anos ou 4,5 bilhões de anos (que é a idade estimada do nosso planeta). Ora, se há registros de extinções ocorridas nas últimas décadas, como o tigre-da-Tasmânia (*Thylacinus cynocephalus*), citado no capítulo VI, ou a brasileira Ararinha-azul (*Cyanopsitta spixxi*), quiçá seríamos capazes de imaginar o número de eventos de extinção que aconteceram nos últimos milhões de anos e que resultaram na diversidade atual. Entretanto, continuaremos rumo ao entendimento de outros fatores envolvidos nos processos de extinção e evolução.

Mudanças significativas na fauna têm acontecido por consequência da ação predatória e devastadora de uma espécie em particular: *Homo sapiens*. Um dos exemplos mais alarmante é o caso dos Rinocerontes Brancos. Hoje existem apenas cinco indivíduos da subespécie *Ceratotherium simum cottoni*, Rinoceronte Branco do Norte. Destes, três são protegidos 24 horas por dia por guarda armada dentro dos 36,4 mil hectares de uma reserva ecológica no Quênia. Outros dois espécimes estão em zoológicos nos Estados Unidos e República Tcheca. Já a subespécie *C. simum simum* ainda tem registro de aproximadamente 20 mil indivíduos, com sua população também em declínio. Contudo nem sempre foi assim, no século XIV a espécie ocupava duas regiões distintas ao sul e centro do continente africano. Há 2.000 anos seu hábitat era expandido até o Vale do Rio Nilo, no Egito, e há registros que confirmam sua presença em Angola, Zâmbia, Moçambique, Zimbábue, Namíbia e África do Sul há apenas 3.500 anos. Essa queda vertiginosa nas populações de rinocerontes deu-se, em grande parte, à caça de indivíduos para a retirada do adorno cefálico (uma estrutura formada por queratina, as vezes chamada erroneamente de ‘chifre’) ao qual atribui-se grande valor comercial principalmente pela crença de que teria poderes sobrenaturais de cura. A capacidade do homem de alterar o meio em que vive e consequentemente o impacto que estas mudanças causam, tem acelerado o desaparecimento de inúmeras

espécies. De maneira alguma os impactos antrópicos, que acontecem por objetivos que não tangenciam a sobrevivência da espécie humana, são aceitáveis, mas temos exemplos também da participação do *H. sapiens* como agente natural em um ecossistema. Voltaremos no tempo para uma melhor compreensão, mais precisamente à última e mais importante mudança ocorrida nos últimos 2 milhões de anos, que extinguiu os grandes mamíferos sul americanos como por exemplo o grande carnívoro *Smilodon* (popularmente conhecido como tigre-dente-de-sabre) e a “preguiça-gigante” *Eremotherium laurillardi*. Este evento de extinção marca a passagem do período Pleistoceno para o Holoceno, e as principais hipóteses que tentam elucidar as causas desta extinção incluem: (I) mudanças climáticas em decorrência de estágios glaciais e interglaciais do final do Pleistoceno e sua consequente “reorganização biótica”, onde a área de superfície continental durante o Último Máximo Glacial foi maior devido à redução das margens oceânicas, além de estarem cobertas por gelo e com a distribuição dos Biomas diferente do que conhecemos atualmente; (II) infecção por patógenos após a formação do Istmo do Panamá e o grande intercâmbio faunístico entre América do Norte e América do Sul onde sugere-se, entre outros pontos, que animais de grande porte, com desenvolvimento ontogenético mais lento e baixa diversidade genotípica, seriam mais vulneráveis às grandes mudanças ambientais; (III) os impactos causados pela chegada do *H. sapiens* ao continente sul americano, pois essa espécie é parte de um ecossistema e sua presença influencia na diversidade tanto atuando como uma espécie que coevoluiu com fatores bióticos e abióticos quanto como uma espécie invasora.

As extinções deste período ocorreram em pulsos, acompanhando nitidamente as variações climáticas que caracterizam o Pleistoceno e os impactos foram mais significativos em baixas latitudes, onde as oscilações no clima e a chegada dos homínídeos aconteceram simultaneamente. Em outras palavras, há um ciclo natural de alterações na distribuição das faunas, que são recorrentes das glaciações no período Quaternário. Na América do Sul esta sequência é quebrada quando *H. sapiens* chega ao continente. Assim, como principal consequência, ocorreu a extinção de muitas espécies, especialmente grandes mamíferos, ou seja, a presença do homem atuando como uma espécie invasora teria sido decisiva para a extinção. Por outro lado, no Continente Africano considera-se que os humanos teriam “coevoluido” com estes mamíferos por centenas de milhares de anos. Isto explicaria também a diferença de magnitude da Extinção do Pleistoceno-Holoceno entre os dois continentes, uma vez que grandes mamíferos ainda fazem parte da composição faunística atual do continente africano. Não esqueçamos de salientar que há necessidade de mais estudos que possam auxiliar na interpretação dos impactos que aconteceram na África por influência da presença dos homínídeos.

Estas extinções não foram as mais representativas ao longo da história dos continentes. O que difere a mastofauna americana pleistocênica da atual é basicamente a ausência dos grandes mamíferos e a nova distribuição dos táxons ainda vivos. Aconteceram outros eventos de extinção em diferentes momentos do percurso evolutivo da Terra, e estão representados no registro fóssil: pelo menos cinco outros grandes colapsos bióticos extinguíram no mínimo de 10 a 20% das espécies existentes no período da extinção. Afinal, quem nunca ouviu falar em dinossauros? A extinção mais famosa de todas, ocorreu no final do período Jurássico e eliminou cerca de 85% de tudo que era vivo até então - observe que agora não se trata apenas de um continente ou um táxon. Como atingir tamanha proporção? Qual a quantidade mínima de mortes para consolidar um grande evento de extinção? O registro fóssil realmente representa a quantidade de espécimes dizimadas?

As causas desses fenômenos em massa ainda não são bem definidas, principalmente pelo fato de uma gama de agentes potenciais atuarem sozinhos ou simultaneamente. Transformações na superfície terrestre causadas pela mo-

vimentação das placas tectônicas e/ou vulcanismo, por serem grandes acontecimentos, já causam impactos imediatos por si só e desencadeiam uma série de consequências. Temos um laboratório *in loco* em Galápagos, e voltamos a usá-lo como exemplo: no dia 25 de maio, dia da erupção do Wolf, uma coluna de fumaça de mais de 10 km de altura foi expelida às 2 h 57 min e, menos de duas horas depois, às 4 h 34 min, já eram duas gigantescas colunas entre 13 e 15 km de altura, a primeira deslocava-se no sentido sul-oeste e outra no sentido norte-nordeste. Agora vamos adicionar na receita catastrófica local, gases tóxicos, lava, tremores, arremesso de clastos (fragmentos de rochas), mudanças na temperatura da água e dos arredores e fuligem depositada na terra e na água. Ainda é possível potencializar o contexto trágico da ilha graças à presença de vulcões coadjuvantes: Cerro Azul - com mais de 400m acima do nível de mar, ativo e responsável por fumarola, tremores sísmicos e fluxo de lava constantes; Alcedo – com 1.128 m foi responsável por 85 cm de elevação do piso da caldeira vulcânica somente entre junho de 1992 e novembro de 1998; Sierra Negra – 1.124 m de altura, com sua última erupção registrada em 2005, é a maior caldeira de Galápagos e responsável por intensas emissões de gases ao longo de suas erupções históricas, causando precipitação de escória e chuva ácida que tem afetado inclusive a parte habitada da ilha. Podemos finalizar considerando o rebuliço de magma abaixo da crosta terrestre, especialmente nesta região tão instável em termos geológicos. Certamente, analisando por esse novo contexto eu já não temeria só pelos iguanas. A partir daí é possível imaginar o impacto imediato que esses eventos geológicos causam sobre as espécies.

Se considerarmos essa atmosfera caótica expandida à quase totalidade da superfície terrestre, ao invés de limitá-la a uma ilha, começamos a construir o cenário para uma possível extinção em massa. Esta instabilidade tectônica, a nível global, com elevação e submersão dos continentes, alteração da atividade das cadeias mesoceânicas e aumento do vulcanismo, causa movimentação das margens continentais e consequentes mudanças nas barreiras que existiam entre as populações animais e vegetais chegando também à impactos de escala global, como mudanças climáticas e nas correntes oceânicas.

A maior extinção em massa que se tem registro, marca a transição entre as Era Paleozóica e Mesozóica (há cerca de 252 milhões de anos), teve como possível causa inicial a mudança das massas continentais formando um único supercontinente, a Pangea. Esta grande mudança teria acionado uma série de outros mecanismos que juntos extinguíram grande parte das espécies viventes naquele período. Além de mudanças locais, acredita-se que a supermassa continental foi responsável por mudanças climáticas que inclui alterações na circulação das correntes oceânicas afetando o ambiente marinho, onde aproximadamente 90% dos invertebrados foram extintos em menos de 500 mil anos. Em contrapartida, a grande extensão continental da Pangea favoreceu o desenvolvimento e a diversificação das faunas terrestres (especialmente os vertebrados sinápsidos, insetos, anfíbios, entre outros) e a flora com predomínio de gimnospermas e coníferas. Mesmo com a dramática influência da formação da Pangea nos ecossistemas, é importante considerar que o supercontinente não se formou repentinamente, logo, mais uma vez, há vários fatores relacionados direta e indiretamente com todas as mudanças e várias causas dividem a responsabilidade pelas consequências oriundas da concretização deste grande acontecimento na história geológica da Terra.

Entretanto, mesmo quando tudo parece estável, ainda podem acontecer fatores extraterrestres (literalmente) que bagunçam a tranquilidade dos ecossistemas. Acredita-se que impactos com bólidos tenham sido responsáveis por mais uma série de fenômenos ambientais que desta vez impactou cerca de 85% dos organismos vivos, em outro evento de extinção em massa que marca a passagem do período Cretáceo para o Terciário (início da Era Cenozóica). Embora este evento tenha menor magnitude sobre mudanças na fauna global (quando comparado à extinção Permiano - Tiássica,

por exemplo), ficou amplamente conhecido por ter feito as vítimas mais populares: os dinossauros, com exceção dos ancestrais das aves. Ao longo da Era Mesozóica (entre 180 e 60 milhões de anos), uma grande irradiação faunística e florística ocupou os ambientes continentais. A composição biótica contava com estrelas de *Hollywood* (graças aos filmes *Jurassic Park* I, II, III e o mais recente *Jurassic World*, ou seria “*Triassic Park*” e “*Triassic World*”, já que os filmes mostram protagonistas da fauna do período Triássico?) como dinossauros, crocodilos, pterossauros, anfíbios e aves. Contudo, aves, mamíferos e insetos sofreram extinções menores usufruindo subsequentemente de um grande nicho recém-desocupado, o que refletiu na diversidade atual. A cratera de Chicxulub, situada na costa norte da Península de Yucatán, no México, seria a principal evidência de um grande impacto sofrido. Uma fina camada de Iridio encontrada em sedimentos terrestres e marinhos com idade correspondente ao final da Era Mesozóica juntamente com evidências paleontológicas corroboraram a ocorrência desse impacto. Mas estudos reforçam a ocorrência de múltiplos impactos neste período: uma grande evidência (mais especificamente com 450 x 600 km de extensão), localizada ao sul do oceano Índico nomeada Shiva, corrobora a ocorrência de múltiplos impactos que teriam sido responsáveis pela instabilidade dos ecossistemas que marcou este período.

Os organismos vivos que habitam mares e continentes já foram drasticamente reduzidos, e este acontecimento não é inédito como podemos perceber. A quase totalidade das espécies que já existiu não deixou sequer descendentes. Muitas vezes esta herança é representada por um único gene que pode não se manifestar fenotipicamente. Por outro lado, o planeta tem sobrevivido por 4,5 bilhões de anos e sua história está registrada. Quanto à evolução dos seres vivos, podemos recorrer ao registro fóssil.

Até que a ciência pudesse interpretar a origem e a importância dos fósseis da maneira como conhecemos hoje diferentes concepções foram consideradas. Para os filósofos gregos, em um tempo em que se acreditava que a vida brotava espontaneamente da Terra, fósseis eram apenas restos de organismos vivos que não sobreviveram e ficaram mortos no ventre da “Mãe Terra”. Na Idade Média não havia distinção entre rochas minerais e fósseis. No século XIV acreditava-se que fósseis eram gerados a partir do contato acidental com algum fluido petrificante. Na Europa do século XV atribuíam-se aos minerais e gemas propriedades mágicas e medicinais, e neste momento as xilografuras começam a complementar as descrições fósseis. Mas, somente durante o Movimento Renascentista do século XVII que a interpretação mística começa a perder importância. A observação metódica e o pensamento lógico começam a ganhar espaço sobre as interpretações baseadas em crenças. Neste contexto, a descoberta de conchas de moluscos marinhos na abertura de canais do Rio Pó (Itália) finalmente foi reconhecida como restos petrificados de natureza orgânica por Leonardo da Vinci (tema do livro “A montanha de moluscos de Leonardo da Vinci”, de Stephen Jay Gould). Desde então, dada a credibilidade de da Vinci, a natureza biológica dos fósseis difundiu-se, embora ainda sob a convicção de que seriam resultado de organismos transportados e depositados durante o Dilúvio, garantindo para os mais teimosos a perspectiva bíblica. Com o avanço dos estudos sobre anatomia comparada, grandes ossos fossilizados, até então atribuídos aos gigantes mitológicos, transformaram-se em vestígios de um grande animal extinto. George Cuvier e Alexandre Brongniart defendiam a ideia de que o desaparecimento destas grandes espécies se deve em consequência de grandes catástrofes (que hoje são satisfatoriamente comprovadas, como vimos ao longo deste capítulo). Cuvier ainda demonstrou a reconstituição de animais completos a partir de estruturas isoladas em comparação anatômica e funcional com espécies contemporâneas, lançando a base das reconstituições paleontológicas atuais.

Para que restos de animais e vegetais sejam preservados em forma de fósseis, é necessário um contexto pe-

culiar. Fósseis são preservados apenas em rochas sedimentares e o tamanho das partículas, a velocidade de deposição e o transporte que poderão sofrer, tudo influenciará para que um resto orgânico possa ou não ser incorporado à rocha. Isso significa que para todas as formas vivas que já existiram tenham sua identidade fóssil, seriam necessários registros em períodos regulares, o que é impossível, pois apenas eventos de grande magnitude (como os citados anteriormente) ficam registrados nas camadas sedimentares. As rochas com seus clastos e bioclastos, são verdadeiros livros que contam a história de milhões de anos, registrando grandes mudanças ambientais e na biota. Por outro lado, faltam páginas deste livro, ou pela dificuldade na impressão (deposição) ou porque muitas destas páginas foram arrancadas em eventos erosivos. Assim, o livro da vida fica reduzido a um álbum de fotografias que conta a história de pessoas que sequer conhecemos através de alguns instantes eternizados.

Existem lacunas a serem preenchidas e, diga-se de passagem, talvez nunca serão. Os dados paleontológicos que se conhece atualmente, aliados à novas metodologias (como análises filogenéticas com base em dados moleculares, por exemplo), têm sido perfeitamente suficientes para tornar a evolução amplamente aceita como um fato, além de auxiliar na elucidação das relações evolutivas dos mais variados organismos. Por isso, em momentos em que a ignorância humana tenta negar o inegável, mesmo perante a comprovação destes fatos, faço uso das palavras de Idan Ben-Barak: “não me disponho a participar de discussões políticas ou debates intermináveis com pessoas que não querem adquirir conhecimento, ou simplesmente defendem uma ideia sem questioná-la”.

BILBIOGRAFIA

BARNOSKY, A. D. et al. Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents. **Science**, v. 306, 2004.

BRANDÃO, J. M. et al. Janelas sobre mundos extintos. Reflexões sobre comunicação em Paleontologia. **Genovas**, n. 27, p. 83-94, 2014.

CIONE, A. L.; TONNI, E. P.; SOIBELZON, L. The Broken Zig-Zag: Late Cenozoic large mammal and tortoise extinction in South America. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, v. 1, n. 5, 2003.

FERIGOLO, J. Late Pleistocene South American land-mammal extinctions: The infection hypothesis. In: RABASSA, J.; SALEMME, M. (Ed.) **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Rotterdam: A. A. Balkema, v. 12, p. 279-310, 1999.

LERBEKMO, J. F. The Chicxulub-Shiva extraterrestrial one-two killer punches to Earth 65 million years ago. **Marine and Petroleum Geology**, v. 49, p. 203-207, 2014.

International Commission on Stratigraphy. Disponível em: <<http://www.stratigraphy.org>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

SCHULTZ, C. L. Extinções. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 163-180, 2010.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

CAPÍTULO XI - ORIGENS, CONHECIMENTO E ASTROECOLOGIA

Milton Mendonça¹

De onde viemos e para onde vamos? Estas são algumas das questões mais básicas que os seres humanos aprendem a fazer. Durante muito tempo os mitos de origem envolveram ideias e histórias que faziam sentido num mundo restrito e inescrutável de nossos antepassados. Hoje entendemos melhor nossas origens com o avanço da ciência, através da evolução, da biogeografia e dos processos ecológicos espaciais resultantes destas, como a dispersão de organismos. No entanto, ainda restam questões de ampla escala, como nos níveis planetário e astronômico. Estamos iniciando a explorar esses sistemas complexos nos quais talvez até a dispersão de organismos entre planetas seja um processo viável, e talvez muito importante para a persistência da vida em longo prazo na Galáxia.

INTRODUÇÃO

O conhecimento humano, ao longo do tempo, aumentou intensa e imensamente. Buckminster Fuller, arquiteto, inventor e homem múltiplo, avaliou que até o ano 1900 o conhecimento humano dobrava a cada século, mas ao fim da Segunda Grande Guerra já estava dobrando a cada 25 anos. Esse processo hoje é mais intenso ainda, e David Schilling, jornalista interessado em inovação, defendia em 2013 que o conhecimento humano, em termos de informação obtida, dobrava a cada 13 meses. Portanto, mais do que a produção de informação, a *velocidade* de produção de informação, principalmente científica, é hoje em dia de dezenas a centenas de vezes maior do que um século atrás – numa sequência provavelmente exponencial.

As formas de aquisição e transmissão do conhecimento também se modificaram profundamente. Não dependemos mais de nossos sentidos apenas, pois os ampliamos com instrumentos variados. Não dependemos nem mais de nossos cérebros apenas, pois os otimizamos com computadores. Com isso, a aquisição de conhecimento pode acelerar, mas há algo mais associado a isso.

Vivemos numa sociedade cada vez mais propensa à inovação e aceitação de novidades, em especial tecnológicas, mas também culturais. A proposição de ideias novas, sua aceitação e, com isso, a quebra de paradigmas se torna mais provável e ligeira. Debates podem ser ao mesmo tempo rápidos e profundos, dado o incremento na base de informações de que dispomos hoje, com o conhecimento na ponta dos dedos ou nas ubíquas telas, e à quantidade de pessoas capacitadas a acessar essas informações e entender as problemáticas atuais.

O cenário quase idealizado acima pode parecer ter pouco a ver com o mundo atual, em especial com o Brasil. Ainda vivemos num mundo em que podemos esperar muitas limitações e bloqueios à disseminação do conhecimento científico, ao entendimento mais profundo desse conhecimento e suas consequências para a sociedade, numa escala res-

¹Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

trita, e para a humanidade como um todo, numa escala ampla. Para um exemplo básico desta última escala, é importante lembrar que a simples visão do planeta Terra do espaço pelos astronautas na década de 60 causou reflexão pela evidente beleza e ao mesmo tempo finitude de nosso mundo (e por comprovar cabalmente que a Terra é esférica, o que para alguns ainda carecia de confirmação...). No entanto, em diversos lugares do mundo impera desinformação e retrocesso.

Muitas formas de conhecimento estáticas e tradicionais ainda detêm muito poder. O efeito disso é o inverso do que foi apregoado acima: debates longos e rasos, com dogmas sobrepujando informações e ignorância do significado do conhecimento. É importante discutir como esses debates podem passar a ser travados com mais lucidez. A solução não seria simples nem única, mas uma opção importante para a educação em ciência é revelar como essenciais não só as “descobertas” da ciência, mas a forma de funcionamento da ciência, o método científico. Isto não é simples nem trivial, mas poderia ser um objetivo sério a ser buscado.

A ciência dá passos largos na direção de resolver problemas mundanos e nada mundanos. A aquisição de conhecimento abastece nossa sede por saber sobre o mundo e nossa necessidade de viver melhor, mais e/ou com mais conforto. A relação entre ciência e a sociedade que a apoia, no entanto, ainda não pode ser considerada transparente ou aberta o suficiente. Há entraves à disseminação do conhecimento científico, alguns deles sérios. Por vezes avançamos mais, por vezes somos travados. Às vezes esses entraves podem parecer positivos para um bem comum, permitindo que a sociedade se adapte mais gradualmente e se acostume com ideias muito revolucionárias. Mas, em algumas situações, a motivação por trás do entrave pode parecer trivial ou injustificada, ou mesmo maledicente. A informação é libertária, e isso pode parecer ameaçador para determinadas classes sociais ou grupos culturais dentro de nossa sociedade.

Neste capítulo, o objetivo é mostrar como tentamos responder uma questão básica e profunda, a da disseminação da vida e de sua origem em diferentes lugares, primeiro com conhecimento dogmático e depois com conhecimento científico. Esta problemática não é idêntica à da origem da vida por si mesma, ou de como coisas vivas surgem de não vivas, mas similar e paralela. A ideia aqui é como organismos “surgem” em determinados lugares no sentido de irem ou serem levados a diferentes lugares. Isso sempre fascinou estudiosos das mais diversas épocas e com os mais diversos interesses e formações.

Talvez o mais surpreendente na diferença entre explicações científicas e dogmáticas não seja nem a natureza dos fenômenos propostos (naturais ou sobrenaturais), mas a variedade de ideias e desenvolvimentos paralelos que essa questão gera ao receber tratamento científico – ao tornar-se um modelo. Para o conhecimento dogmático, uma vez explicada a questão, tal ideia está conclusa e fechada. Um mito não precisa de repetição dentro de uma cultura, mesmo que às vezes alguns temas ou personagens possam se repetir entre mitos diferentes. Em algumas situações, dentro de uma cultura menos conectada, o mesmo mito pode até aparecer sob diferentes formas em diferentes lugares. Já para a ciência, uma ideia pode ramificar-se imensamente e a explicação (modelo) dada para uma questão num dado contexto ou escala pode servir para explicar uma questão similar, mesmo em outro contexto ou escala. A proposta aqui é trazer um exemplo de como nosso entendimento da distribuição dos organismos no espaço em pequena escala (entre populações de uma mesma espécie) e em larguíssima escala (entre corpos astronômicos como planetas e luas) pode ser surpreendentemente similar. Aproveitando o problema em escala astronômica abordado, e o necessário caráter hipotético de algumas das ideias, é possível também traçar um paralelo entre como o conhecimento dogmático e o científico lidam com a incerteza e com lacunas de conhecimento.

CONHECIMENTO, ELABORAÇÃO E TRANSMISSÃO NO PASSADO - DO FATO AO DOGMA

O conhecimento advém da tentativa de entendimento do mundo, da obtenção da informação no mundo exterior e posterior elaboração desta através de nossa cognição num modelo mental, em geral de causa e efeito. Usamos esse modelo para entender partes da realidade e antecipar ou prever eventos, como proposto por Kenneth Craik em 1943. Apesar de elaborado internamente, o conhecimento também é afetado pelas relações entre as pessoas, pela validação social que dado conhecimento precisa enfrentar. Assim, ideias novas podem expandir-se e serem aceitas, ou podem ficar no terreno da especulação, aceitas por poucos. Hoje chamamos as ideias (e imagens ou vídeos!) muito rapidamente dispersadas de *memes*, segundo a sugestão de Richard Dawkins em *O Gene Egoísta* (1976). Memes são ideias fortemente validadas e aprovadas socialmente. (O termo original no grego antigo deveria ser *mimeme*, “coisa imitada”, mas certamente a versão moderna é mais sonora).

No entanto, em boa parte dos períodos anteriores da história da humanidade, a informação era: 1) muito restrita (poucos tinham acesso a ela), 2) pouco explorada (ou seja, praticamente sem chances de inovação), e 3) estava em geral nas mãos de elites sociais, ou seja, sob controle dos poderosos. O conhecimento, portanto, tinha bases pouco sólidas e pouco objetivas, e ainda servia de uso para dominação sociopolítica. Algumas poucas exceções são conhecidas, seja na restrição, exploração ou controle do conhecimento. Os gregos antigos lograram bastante sucesso na inovação em torno de ideias e até ideais distintos do que se viu em épocas anteriores. A filosofia grega antiga e o apreço pelo entendimento do complexo mundo à nossa volta, desvinculado de uma visão estática, só teria tanta chance novamente muito tempo depois no mundo muçulmano na Idade Média, e depois na Europa Renascentista.

Os melhores exemplos de conhecimento tradicional não científico são advindos de fontes de informações que eram as únicas disponíveis durante muito tempo e para muitas civilizações diferentes: os chamados textos sagrados. Nem todos os textos sagrados se parecem com os que hoje conhecemos, livros como a Bíblia e o Corão, que sintetizam em um livro histórias supostamente inspiradas por divindades ou passadas por personagens quase divinos, como profetas. Nem todos os textos sagrados eram livros únicos, mas às vezes coleções de histórias mais ou menos soltas, advindas de tradições orais. Inicialmente a maioria das sociedades não era una, mas coleções de cidades-estado mais ou menos interligadas por cultura, comércio e política. Em cada região ou cidade, diferentes contadores e detentores de informação poderiam contar histórias um pouco diferentes, o que conhecemos aqui pela expressão “quem conta um conto aumenta um ponto”. Assim, diferentes povos tinham histórias próprias às quais davam mais ou menos importância.

A Bíblia adotada pelos cristãos é considerada por muitos crentes como definitiva, imutável e eterna, mas sob esta visão histórica é uma versão de livros escritos por fontes diversas em diferentes tempos, contando diferentes histórias que por sua vez tinham sido contadas durante séculos e até milênios antes pelas mais diferentes fontes, primeiro oralmente apenas. Algumas delas bebem de outras fontes, inclusive da tradição judaica, portanto não devemos enxergar a Bíblia como um livro unicamente com relatos exclusivos de um povo, mas uma versão de histórias sintetizadas ali. A atual versão tornou-se fixa apenas com o advento do poder multinacional das igrejas cristãs e das tecnologias de disseminação de conhecimento, principalmente a imprensa e os transportes rápidos.

CONTOS DE ORIGEM E O “DILÚVIO UNIVERSAL” NA BIOGEOGRAFIA

A história de Noé nos apresenta um cataclismo ecológico na forma de uma enchente devido a uma mudança climática extrema. Aparentemente a história visava explicar eventos naturais extremos como resultado de culpabilidade das pessoas, tendo como moral seguir preceitos éticos divinos sob pena de sofrer punições (extremas). Sob interpretações literais da Bíblia cristã, esta história passou a explicar a biogeografia dos organismos (sua origem e dispersão), na verdade focando em tetrápodes (segundo o texto, “animais e aves, mas também os organismos que se movam no solo”), e sua sobrevivência face a uma perturbação que normalmente levaria uma série de espécies a extinções locais. Aliás, uma das dúvidas comuns sobre a interpretação literal é sobre a sobrevivência dos organismos não inclusos na arca, como plantas, fungos e peixes marinhos - como teriam sobrevivido a uma enxurrada de água doce por 150 dias? Pelo relato bíblico, então, todos os humanos derivam de Noé e sua família - um gargalo de garrafa genético e ecológico (e, porque não, cultural) intensíssimo, obviamente nunca detectado. Mais, todos os tetrápodes (ao menos) teriam um ponto geográfico de origem comum, o monte Ararat, desde alguns poucos milênios atrás - padrão que pode ser refutado facilmente por necessitar dispersão e especiação em taxas elevadíssimas.

Graças também a essa situação de possuir uma moral intrínseca, derivada de uma vinculação a entidades sobrenaturais, passou a ser um relato cosmogônico, ou seja, de origem e formação do mundo (ou antes, da sua fauna, incluindo humanos). Do que se saiba, essa história manteve-se enquanto relato oral por muito tempo, provavelmente, e encontrou-se disseminado entre os povos do Oriente Médio. Por exemplo, em meio ao livro de lendas de Gilgamesh, dos Babilônicos, há um conto que se assemelha impressionantemente ao de Noé. Ao longo dos últimos anos, o exame arqueológico das civilizações mesopotâmicas revelou vários relatos similares ao longo de séculos, totalizando ao menos nove versões, a mais antiga do período Babilônico antigo (20° ao 16° século AEC, antes da Era Comum). Parece que os judeus foram mais um povo a adotar a lenda do dilúvio, em especial por sua vinculação histórica com a Babilônia, lugar de onde emigraram em determinado tempo (em torno do ano 600 AEC, mas há pouca evidência arqueológica sobre esse movimento, segundo os autores Moore & Kelle em 2011).

Apesar de evidências faunísticas (a vasta distribuição e diversidade da fauna de tetrápodes atual) e arqueológicas (a história de Noé ser originária de outra fonte e apenas adotada pela Bíblia judaica e cristã) claras e indubitáveis, ainda persiste a visão de que por estar num livro sagrado, de inspiração divina, essa história mereceria uma interpretação literal e não literária. É compreensível que Carl von Lineu, há cerca de 250 anos, tenha usado como base para o entendimento da distribuição dos organismos o relato disponível na época, tentando conciliar a história do dilúvio com os padrões de distribuição que ele mesmo encontrava na Europa. Contemporaneamente a Lineu, o Conde de Buffon propôs mudanças em relação à história bíblica, mas ainda propunha um ponto de origem único para os “quadrúpedes” (Tetrapoda). Uma grande diferença é que ele propunha que “apenas” 38 espécies destes animais teriam estado na “arca”, sendo as espécies atuais originadas por “melhorias” e “degenerações”, abrindo o caminho para a modificação das espécies e, portanto, evolução. A geração seguinte de cientistas, com o aumento da informação geográfica disponível, já passava a perceber que uma explicação como a da narrativa de Noé não poderia se aplicar a um mundo tão vasto e diverso. Naturalistas como Humboldt e o próprio Darwin (ver capítulo II) encontraram em suas navegações inúmeras evidências de que as separações entre faunas necessitam de dezenas de milhares a milhões de anos para acontecerem - e também postularam pontes biogeográficas, nunca encontradas e hoje descartadas, antes de se saber que os

próprios continentes se movem. Desde então, no âmbito da ciência, o “modelo biogeográfico” do dilúvio para explicar a diversidade e distribuição dos organismos caiu em desuso, por assim dizer.

O surpreendente, no entanto, é que versões literais do dilúvio ainda são usadas hoje em dia como explicações da distribuição dos organismos na Terra. Ainda temos uma assustadora quantidade de pessoas e instituições propondo e defendendo arduamente a versão literal desse trecho bíblico, em especial versões fundamentalistas do cristianismo. Em Kentucky, nos Estados Unidos da América, existe um Museu da Criação que apresenta uma arca sendo construída e supostas respostas às muitas dúvidas apresentadas pelas pessoas em relação a essa complicada história. Dentre as críticas ao dito museu, estão justamente de que nada nele é original, como apontou Gretchen Jennings, da *National Association for Museum Exhibition* dos EUA em 2011: “são apenas exposições manufaturadas recentemente e, portanto, trata-se, na melhor das hipóteses, de uma exposição, não de um museu.”

Já faz séculos que nosso conhecimento científico descartou uma por uma das premissas do dilúvio dito “universal” segundo o relato presente na Bíblia cristã. A quantidade de água disponível na Terra não seria suficiente (e para onde teria ido?), o tamanho da “arca” exigiria uma engenharia impossível para a época, isso sem contar as explicações biológicas óbvias: a diversidade atual de organismos, seus processos de distribuição por dispersão passiva e ativa, a extensão de tempo geralmente necessária para o processo evolutivo levar à especiação, a anteriormente comentada inexistência de gargalos de garrafa genéticos perceptíveis e compatíveis com a escala de tempo proposta desde o “dilúvio”. Mesmo assim, e esse é o poder do dogma, persistem tentativas de explicar um mito cosmogônico como realidade objetiva. Na ciência, uma ideia descartada permanece descartada, pelo menos até que novas evidências venham a revelar novas facetas de uma teoria em desuso. Nada até agora justifica pensarmos o dilúvio como algo concreto.

BIOGEOGRAFIA HOJE: ECOLOGIA ESPACIAL

A biogeografia é hoje uma disciplina desenvolvida e complexa, que combina informações sobre os organismos, como características ecológicas, morfológicas e genéticas, para reconstruir suas histórias evolutivas por meio de hipóteses filogenéticas e compará-las com sua distribuição espacial. Este processo começou há décadas ainda com os naturalistas, como Alfred Russell Wallace, considerado o pai da biogeografia e em especial da zoogeografia. De aspectos descritivos como mapeamento de grandes regiões faunísticas e florísticas passamos, hoje, a minuciosos estudos sobre como processos evolutivos e ecológicos afetam a distribuição dos organismos. Dentre os processos evolutivos estão seleção natural (a reprodução diferencial de alguns genes e genótipos em resposta a pressões ambientais) e deriva genética (eventos aleatórios, como por exemplo apenas organismos com certos genes fundarem uma nova população de certa espécie, e isso se dar ao acaso). Dentre os processos ecológicos estão: dispersão, em suas variadas formas, e a formação e destruição de barreiras a essa distribuição no ambiente. Como parte dinâmica da ecologia e aliada à evolução, para a biogeografia todos os organismos são sistemas interessantes de trabalho – sejam bactérias, archaea ou eucariotos².

²A atual classificação dos seres vivos adota um sistema com três domínios, sugerida por Carl Woese em 1990. Os eucariotos são organismos com núcleo celular (e outras organelas), bactérias e archaea morfológicamente se parecem, mas são tão distintas em sua genética e bioquímica que são separadas em domínios distintos. As archaea estão na verdade mais próximas geneticamente dos eucariotos do que das bactérias.

Alguns dos principais padrões e processos estudados pela biogeografia no aspecto espacial estão relacionados com a heterogeneidade dos ambientes e a capacidade dos organismos em ocupar espaços adequados ou inadequados a eles. Essa capacidade limitada de ocupar os espaços gera padrões no espaço para os organismos, que podem ser manchas de ambiente adequado numa matriz de ambientes inadequados, um mosaico complexo, ou ainda apenas manchas de ambiente inadequado numa vasta área de ambientes adequados. A título de lembrança, estes padrões e processos são válidos para qualquer tipo de organismo, ou seja, podemos estar falando de bactérias que vivem sobre plantas (cada planta é ambiente adequado, mas são separadas por espaços inadequados), sobre mamíferos de campo aberto (que têm nas florestas ambiente inadequado a ser atravessado) ou quase qualquer outro exemplo envolvendo organismos vivos.

Sabemos que todos os organismos dispersam e precisam dispersar em pelo menos algum período de suas vidas: permanecer no mesmo ambiente não costuma ser uma estratégia viável. Os ambientes mudam, seja por alterações nos fatores abióticos, como os climáticos, seja porque os organismos nascem e morrem, dispersam de um lado a outro, ou alteram com suas atividades vitais o ambiente onde vivem. O ambiente onde os organismos se originam em geral tem coespecíficos: ao menos os progenitores que os deram origem! Quando imaginamos grandes organismos sésseis como uma araucária ou uma grande colônia de coral, temos de lembrar que eles dispersaram uma vez na vida, quando pinhão ou larva planctônica, respectivamente...

Cada uma destas situações espaciais acima, de manchas ou continuidade, impõe condições diferentes para a dispersão dos organismos. As distâncias entre ambientes adequados, determinadas pela matriz, ou sua continuidade na paisagem são os pontos cruciais para restringir a dispersão dos organismos. Num ambiente contínuo, ou mesmo num mosaico, a dispersão é facilitada ou pelo menos não impõe grandes limites. No entanto, em boa parte das vezes, o ambiente inadequado é bem mais comum que o adequado, e a disposição em manchas faz com que essa matriz seja predominante. Neste caso, dispersar entre manchas pode significar um desafio, um risco, e espera-se que seja mais raro.

Essa distância entre manchas gera um grau de independência entre elas, no que tange aos processos das comunidades biológicas – é como se cada mancha contivesse uma comunidade quase fechada, onde a sua dinâmica depende das interações estabelecidas entre as populações locais, ali presentes. Eventualmente, há dispersão entre manchas, e assim o conjunto regional das manchas também contribui um pouco para a dinâmica de cada mancha. Além disso, quanto maiores as distâncias entre as manchas, menores as chances de dispersão e, portanto, menor o efeito regional das manchas – e mais parecido com uma série de comunidades isoladas o sistema vai se parecer. O fato de termos uma “população” de manchas, unidas pela dispersão entre elas, mas cada uma com uma população de organismos, fez com que se adotasse uma nomenclatura baseada no grego (como sempre em ciência...): metapopulação, ou seja, “além da população”. Cada mancha, assim, pode ter uma subpopulação. O mesmo vale para metacomunidades e metaecossistemas. Estas denominações abarcam boa parte das preocupações que a atual ecologia espacial tem no tocante a entender organismos e sua dinâmica no espaço.

A dinâmica das metapopulações tem consequências variadas e também inesperadas. Os modelos matemáticos previram padrões que vários sistemas ecológicos depois apoiaram: numa situação intermediária de manchas não muito isoladas nem muito conectadas, a dinâmica prevê persistência das populações em longo prazo. Mesmo que cada população isolada tenha chances de sofrer extinção por algum motivo (catástrofes, problemas internos como endocruzamento ou densidade baixa demais), as chances de que todas as populações entrem em colapso ao mesmo tempo é muito

reduzida. Claro, isso funciona apenas porque existe um processo inverso ao da extinção: a colonização de manchas. Por dispersão entre manchas, um organismo qualquer pode mover-se e atingir uma mancha já ocupada (onde existe uma população residente) ou uma mancha não ocupada (onde não existem coespecíficos, seja porque houve extinção ou porque é uma “nova mancha” - nunca houve população ali!). No caso de atingir uma mancha ocupada, há aumento da população local (subpopulação) e a extinção pode até ter menor chance de ocorrer. No caso de mancha desocupada, se a dispersão permite (re) estabelecer uma nova subpopulação nessa mancha, então temos o processo de colonização.

O equilíbrio entre esses processos de colonização e extinção é o que determina a natureza da metapopulação, a proporção de manchas ocupadas em relação às desocupadas, e a dinâmica dessa proporção. De qualquer forma, o estudo das metapopulações foi responsável por mudarmos a forma como vemos a dinâmica populacional de forma geral: sem considerarmos o espaço, talvez não entendamos o que realmente ocorre na natureza.

ASTROBIOLOGIA, ORIGEM DA VIDA E ECOLOGIA ESPACIAL NO COSMOS

As questões da origem da vida e a dinâmica da vida no âmbito astronômico (astrobiologia) podem ser consideradas, digamos assim, de ciências de desbravamento. Avançamos como qualquer ciência, gradativamente desenvolvendo teoria e prática um após o outro, descartando ideias e construindo paradigmas. No entanto, há sempre a possibilidade de grandes descobertas que abrem vastos novos campos de pensamento e experimentação. Pode ser uma nova função para uma molécula comum, ou um novo objeto ou processo astronômico imprevisto.

Entender a origem da vida requer conhecedores de diversas naturezas, como químicos, físicos, astrônomos, geólogos, biólogos celulares, todos envolvidos em partes da resposta possível. Por necessidade, a resposta sobre a origem da vida será complexa e probabilística – não teremos certeza, apenas um cenário mais provável do que deva ter acontecido. E talvez ainda precisemos de muito tempo antes desse cenário ser completo o suficiente para silenciar de todos os críticos. Ressaltando, é importante ter crítica dentro da ciência, baseada em informações e sua interpretação. Há sempre uma tendência para que se atinja não um consenso perfeito, mas pelo menos concordância de uma maioria considerável.

Aqui voltamos ao que foi comentado no início do capítulo: mais do que a origem da vida a partir do não-vivo, existe uma complexa questão também sobre a origem da vida no sentido espacial: como a vida chegou ali (ou aqui). Nesse ponto teremos o encontro da ecologia espacial (e a biogeografia clássica também) com... o espaço!

A astrobiologia trabalha com inúmeras hipóteses sobre diversos processos e padrões. Conhecemos tão pouco sobre os ambientes fora da Terra, que ainda temos dificuldades em estabelecer o que é e o que não é possível – que dirá saber o quanto os processos possíveis são prováveis. Mesmo assim, algumas teorias são fundamentadas e passam pelo crivo não só dos desenvolvimentos teóricos, mas também dos práticos. Um exemplo relevante aqui é o da litopanspermia. De novo a língua grega: “lito” vem de pedra, “pan” quer dizer em todos os lugares e “sperma” quer dizer semente, ou seja, pedras com sementes que vão a todos os lugares.

De acordo com a panspermia, que iniciou justamente com os gregos antigos (Anaxágoras, ~2450 AEC) e foi adotada e rejeitada em diferentes contextos e épocas, os seres vivos poderiam vir até a Terra e serem levados da Terra graças a algum processo natural. As fontes possíveis de veículos trazendo seres vivos poderiam ser cometas, cavalos alados, poeira cósmica, gansos atrelados a carruagens, asteroides e balões. À medida que entendíamos mais sobre os processos astronômicos, o favorecimento de algumas dessas possibilidades como mais prováveis foi se alterando.

Hoje em dia, pensamos que não asteroides, mas rochas ejetadas nos impactos de asteroides poderiam ser os veículos possíveis. Daí a nova denominação de **litopanspermia**.

Quando meteoritos atingem a superfície sólida de um planeta, o impacto ejeta uma série de rochas a altas velocidades. Pelo menos parte dessas rochas pode atingir velocidade de escape, ou seja, conseguir deixar a gravidade do planeta. Isso é mais provável em Marte do que na Terra, por exemplo, porque lá a gravidade é menos intensa. Os físicos estudam agora um processo chamado espalação, pelo qual algumas das rochas imediatamente no entorno do ponto de impacto são ejetadas muito rapidamente, mas sem sofrerem grande aumento de temperatura ou pressão. As evidências para isso derivam da descoberta de diversos meteoritos vindos de outros planetas do sistema solar (em especial de Marte) aqui na Terra, sem evidências de terem sofrido grandes estresses de pressão e temperatura (exceto o da entrada na Terra). Com isso, organismos vivendo sobre ou no interior dessas rochas poderiam sobreviver por determinados períodos, mesmo sendo lançados ao espaço. Aqueles dentro da rocha estariam mais protegidos da radiação e mesmo do vácuo espacial. Um desses meteoritos marcianos ficou especialmente famoso nos anos 1990 porque a NASA veio a público revelar que ele poderia conter exemplos de microfósseis e, portanto, significar evidência de vida em Marte. A maioria das opiniões científicas acabou sendo contrária a isso - porque estruturas muito similares podem ser produzidas por reações químicas conhecidas dos geólogos, porque os supostos fósseis eram muito menores do que qualquer ser vivo conhecido ou postulado, entre outros aspectos.

Parece simples imaginar que organismos não sobrevivem no espaço, e isso seria um limite absoluto a este suposto processo astrobiológico. No entanto, não ideias ou teorias, mas a experimentação nos mostrou que isso não é absoluto. O programa EXPOSE, da Agência Espacial Europeia (ESA) a bordo da Estação Espacial Internacional, revelou através de diferentes experimentos que diversos organismos podem sobreviver a exposições ao espaço exterior, sob situações de vácuo e extremos de radiação, inclusive luz solar direta. Dentre esses organismos capazes de suportar condições espaciais, estão associações mutualísticas complexas como líquens, esporos de bactérias e fungos, sementes de plantas e até pequenos animais como tardígrados ou “ursos-d’água” (Tardigrada). Experimentos com exposição de organismos endolíticos (vivendo dentro de rochas) tiveram os maiores índices de sucesso, pois as perdas e danos a organismos expostos diretamente ao espaço foram imensos.

A entrada na atmosfera de outro planeta também pode ser problemática, certamente, mas isso depende da densidade dessa atmosfera (p.ex. em Marte ela é pouco densa) e da estrutura da rocha, que pode aquecer-se somente na parte externa. Tivemos inclusive experimentos (STONE, também da ESA), de novo, para demonstrar esse processo: rochas impregnadas de organismos na superfície e interior foram submetidas à reentrada na atmosfera terrestre na parte exterior de uma sonda russa (Foton) – e alguns dos organismos bacterianos no interior da rocha permaneceram vivos e viáveis. Parece que nada a menos de 2 cm de profundidade na rocha foi capaz de sobreviver, mas essa dimensão é bem menor do que o anteriormente imaginado.

Mas, perguntariam os seres da superfície, existem organismos que viveriam no interior das rochas? Sim, surpreendentemente, a crosta terrestre é também um habitat. Inúmeras evidências mostram que rochas basálticas apresentam fissuras, em cujo interior se encontra água, metano e outros compostos – e organismos, como bactérias e archaea. Outras rochas também apresentam reentrâncias dentro das quais vivem protegidos alguns organismos, chamados de endolíticos, como algas e até líquens, por exemplo em desertos extremos como o Atacama. Algumas dessas comunidades podem ser mais extremas ainda, tendo sido encontradas na costa estado-unidense do Pacífico em rochas

a mais de 500 m de profundidade na crosta, por sua vez a mais de 2000 m de profundidade no oceano! Assim como as fumarolas abissais do oceano, que abrigam biotas quimiossintetizantes, essa “biosfera profunda”, como foi chamada, também funciona independentemente da biosfera superficial, da luz do Sol. A fonte de energia é a conversão de metano e outros compostos químicos simples, ou seja, quimiossíntese ao invés de fotossíntese. Essa independência pode ser vantajosa também para o processo de transporte entre planetas: essas comunidades bacterianas levam consigo seu alimento, o que pode significar mais tempo de sobrevivência e uma maior tolerância a novos habitats no ponto de chegada. Na verdade, estamos falando da transferência não de micro-organismos nem comunidades, mas de (micro) ecossistemas inteiros.

A VIDA QUE SE MOVE NO COSMO

Os temas anteriormente apresentados são todos da esfera da astrobiologia, e os desenvolvimentos destes decorrem de estudos multidisciplinares que envolvem biólogos moleculares, biólogos pesquisadores de extremófilos, astrônomos, físicos e outros. A ecologia espacial (ainda na Terra) entra nessa equação por estender para um nível acima o entendimento desses processos: se os organismos podem ser levados entre planetas, eles são efetivamente capazes de dispersão astronômica, em uma escala interplanetária (e já há sugestões de escalas interestelares). Em havendo dispersão, o sistema solar se torna um espaço ecológico.

A biogeografia dos planetas (como sugerido por Charles Cockell, um astrobiólogo escocês em 2007) é então uma situação em que estes são como manchas habitáveis, situados numa matriz de espaço que é inabitável. Os organismos têm uma capacidade de dispersão entre essas manchas, o que as conecta. As rochas ejetadas para o espaço contêm propágulos, ou seja, são carreadores de organismos. Como cada planeta é potencialmente uma biosfera, então as biosferas podem estar ligadas por dispersão. Assim como as populações formam uma metapopulação por dispersão entre elas, então temos uma potencial metabiosfera.

Parece estranho que a simples dispersão de organismos possa “criar” uma biosfera, que usualmente é entendida como um sistema extremamente complexo, mais ou menos controlado pelo conjunto dos seres vivos atuando via mecanismos biogeoquímicos globais. Alguns pensadores consideram a biosfera como similar a um superorganismo global. Neste nosso caso, a chegada e estabelecimento de organismos num planeta ou lua qualquer os torna imediatamente biosferas – nada mais do que corpos planetários ocupados por seres vivos. Este é apenas um arranhar sobre uma questão mais ampla, de definição estrita ou ampla a respeito do conceito de biosfera – e a metabiosfera pode nos fazer pensar a respeito do que realmente é ou deixa de ser uma biosfera.

Assim como para metapopulações, a capacidade de dispersão dos organismos entre corpos planetários significa, em primeiro lugar, uma segurança para a persistência da vida como fenômeno astronômico. A possibilidade de colonização permite que, mesmo havendo extinção global (toda a vida em um planeta desaparecer por algum motivo), a vida possa permanecer durante tempos mais longos. Um exemplo irônico: após um devastador impacto por um meteoro, toda a vida de um planeta pode ter sido destruída numa extinção global. Poderá ser um outro meteoro o responsável por reiniciar esse ciclo, trazendo a vida de volta.

A litopanspermia permite também que mesmo que a origem da vida a partir de compostos não-vivos seja um fenômeno raro (o que na verdade ainda não foi demonstrado!), a vida possa ser comum no Universo. Talvez estejamos

adicionando uma hipótese a mais em nossa busca por entender essas origens, o que nos dificulta mais o trabalho de compreensão: mesmo que encontremos vida em Marte, por exemplo, ainda temos que descartar uma das hipóteses sobre como ela surgiu, se autóctone (origem local) ou se alóctone (origem em outro lugar, parecido com a Terra, e posterior transporte). Por sinal, já se aventou a possibilidade inversa, que o sítio de origem da vida esteja em Marte, e não na Terra, e que ela tenha vindo de lá para cá e não o contrário. Isso poderia ter acontecido durante o Bombardeio Pesado Tardio, um período final da formação do sistema solar em que a população de asteroides e corpos planetários pequenos ainda era muito grande e muitos choques interplanetários ocorriam. Isso deixou marcas claras na forma de muitas crateras deste período em diversos corpos do nosso sistema solar, como na nossa Lua e em Mercúrio. Este é um período, também, em que vida primitiva tinha uma alta chance de ser expelida e recapturada pelos corpos planetários de nosso sistema solar.

UMA NOVA DISCIPLINA: ASTROECOLOGIA

Mesmo com entraves, não só a quantidade de conhecimento gerado pela humanidade aumenta, mas a gama de ramos do conhecimento humano também não para de aumentar. Cada vez conhecendo mais detalhes, cada vez fazemos mais perguntas. É de nossa natureza perguntar e duvidar, cogitar e elucubrar, por mais que os dogmas tentem manter essas perguntas “sob controle”. No entanto, algumas das perguntas que fazemos necessitam de explicações muito complexas e multidisciplinares – ou seja, precisam de cientistas de diferentes campos para serem respondidas. Isto também quer dizer que algumas das perguntas ficam mais tempo do que precisariam por serem respondidas. Estas três dificuldades para responder mais rapidamente algumas questões (complexidade nas respostas, necessidade de integração multidisciplinar e necessidade de concentração de esforços) são calcanhares de Aquiles da ciência atual. Porém, não são erros, apenas vicissitudes. Existe ainda uma quarta questão: a educação de ciência não acompanha o desenvolvimento desta, e cria um degrau entre a nossa capacidade de entender o mundo e de explicá-lo às pessoas. Como querer que “o povo nas ruas” entenda a origem, a distribuição e a história da vida se não compreenderem conceitos básicos de astronomia, química e biologia? Pior ainda, se não entenderem como a ciência obtém esses conhecimentos, e como os mantém sob crítica permanente?

A astroecologia, conforme estabelecido por este autor (Milton Mendonça) em 2014, é um novo ramo do conhecimento humano que está sendo proposto para abarcar uma série de estudos possíveis relativos à vida e seus fenômenos ecológicos em um âmbito astronômico, ou seja, não só aqui como fora da Terra, onde ela houver e onde também não houver. Afinal, se Marte não é uma biosfera, queremos saber por quê! Apesar de outros autores já terem usado o termo astroecologia (o físico-químico americano Michael Mautner 2009, mencionando a sobrevivência e viabilidade de organismos terrestres vivendo em ambientes extraterrestres, como plantar vegetais em solo marciano), a abrangência que essa junção de astrobiologia e ecologia merece ainda não foi explanada. Nossa intenção é que todos os níveis de organização da ecologia (organismos, populações, comunidades, ecossistemas e biosfera) tenham algo a adicionar, somar e sugerir à astroecologia (para uma discussão similar, ver o artigo deste autor, Milton Mendonça, na Ciência Hoje em 2015). Estudamos as respostas dos organismos a condições do espaço, como a ecologia do organismo faz. Devemos estudar se os processos vivos são mantidos nas rochas ejetadas, se há reprodução dentro das rochas em trânsito, e qual a dinâmica dessas populações não só durante a viagem, mas também ao chegar. As novas condições encontradas no

planeta de destino talvez sejam muito diferentes das originais, talvez não. Se a sobrevivência no novo planeta for possível, as pressões de seleção podem ser muito intensas e o padrão evolutivo variado e, como sempre, imprevisível. Talvez grandes populações sejam necessárias para o estabelecimento de vida num planeta colonizado por litopanspermia, para trazer não só muita matéria orgânica como também muita variedade genética com que a evolução possa trabalhar. Talvez a extinção imediata dos dispersantes seja a norma nesses casos, e apenas muito raramente ocorra dispersão efetiva. Se várias espécies viajam juntas nos propágulos entre planetas, será que as interações ecológicas entre elas são importantes para sua sobrevivência no novo planeta, ou seja, a ecologia dessas comunidades é importante? Se organismos mutualistas viajarem juntos, isso aumenta suas chances de se estabelecerem no novo planeta por colaborarem entre si? Os líquens seriam um excelente exemplo. Por fim, se as biosferas propriamente ditas são todos integrados que funcionam de forma similar a um superorganismo (mudando nosso conceito puramente espacial anterior), em quanto tempo após uma colonização poderíamos chamar um planeta de “biosfera propriamente dita”?

Como toda nova disciplina, a astroecologia exige muito pensar em novos termos, como anteriormente, e exigirá uma multitude de opiniões e ideias. Todos são bem-vindos a discuti-la, pensar sobre ela, contribuir da forma que for preciso ou possível. Por enquanto os blocos de sua construção são quase todos teóricos. Um dia eles poderão ser práticos e aplicados. Esta pequena ciência passará por críticas de diversas naturezas, de dentro da ecologia, de dentro da astrobiologia, de fora destas. As críticas serão sobre sua validade, sobre a concretude dos fenômenos que descreve e até sobre se merece continuar sendo seriamente considerada, ou se fica no âmbito da ficção científica, ou se é extinta. A astroecologia poderá ser esquecida, e talvez reativada algum dia quando fizer mais sentido por novos desenvolvimentos e descobertas. A expectativa de dar origem a algo novo é de que persista – mas a expectativa só pode fazer sentido na racionalidade e na coletividade de mentes racionais. Esse é o caminho da ciência, e não poderia ser diferente para o melhor sistema de conhecimento que possuímos – falível, problemático, complexo, mas ainda assim o melhor.

BIBLIOGRAFIA

COCKELL, C. The Interplanetary Exchange of Photosynthesis. **Origins of Life and Evolution of Biospheres**, v. 38, n. 1, p. 87-104, 2008.

DAWKINS, R. **O Gene Egoísta**. Belo Horizonte: Ed. Villa Rica, 1976. 224 p.

MAUTNER M. N. Planetary resources and astroecology. Planetary microcosm models of asteroid and meteorite interiors: electrolyte solutions and microbial growth--implications for space populations and panspermia. **Astrobiology**, v. 2, n. 1, p. 59-76, 2002.

MENDONÇA, M. de S., Jr. A ecologia vai para o espaço estudar as metabiosferas. **Ciência Hoje**, v. 325, p. 32-36, 2015.

MENDONÇA, M. de S., Jr. Spatial ecology goes to space: Metabiospheres. **Icarus**, v. 233, p. 348–351, 2014.

MOORE, M. B.; KELLE, B. E. **Biblical History and Israel's Past: The Changing Study of the Bible and History**. Grand Rapids: Eerdmans Pub. Co., 2011.

CAPÍTULO XII - A SEXUALIDADE DA FÊMEA HUMANA À LUZ DA EVOLUÇÃO

Patrícia Mattei¹

A fêmea da espécie humana é um ser único, diferente das fêmeas das outras espécies – e já no início deste capítulo chamo a atenção do leitor para o termo **diferente**, que significa distinto, dispar, não melhor, nem pior. Como já citado em outros capítulos deste livro, não somos o suprassumo da evolução, mas alcançamos a possibilidade de observar, deduzir, transformar, pensar e dialogar. Desta forma, tirando de nossos olhos a viseira antropocêntrica de mundo, vamos analisar algumas características sutis e que podem passar despercebidas, mas que escondem em seu cerne a beleza de milhões de anos de evolução e permitiram um incrível sucesso adaptativo da fêmea humana. Vamos analisar também como o ser humano progrediu da cópula, destinada apenas à reprodução para a “invenção da sexualidade”, uma trama complexa de significações e intencionalidades sexuais que não se resumem somente ao ato reprodutivo e, finalmente, vamos discutir como as religiões influenciaram e influenciam a compleição da mulher na vivência dessa sexualidade e na inserção no campo da ciência.

DO QUADRPEDALISMO AO INÍCIO DA VIDA EM SOCIEDADE: COMO PROGREDIMOS DA CÓPULA PARA O “SURGIMENTO” DA SEXUALIDADE

Convido o leitor a pensar (evolutivamente) nos seios da fêmea da espécie humana. Diferente dos outros mamíferos, eles apresentam um formato hemiesférico, que não é o mais adequado para a amamentação, enquanto que outras primatas apresentam seios achatados, ideais para que o filhote sugue o leite. Antes que o leitor adicione os seios da fêmea humana à lista de falhas evolucionárias, cabe lembrar que essas estruturas possuem dupla função na espécie humana: parental e sexual. As demais fêmeas primatas enviam sinais sexuais com as nádegas, ao caminharem sobre quatro patas; entretanto, como os humanos evoluíram para a postura ereta, os seios assumiram uma parcela do papel que anteriormente pertencia às nádegas.

A “nova função” dos seios da fêmea humana e outras características primorosas, únicas da mulher, podem ser encontradas no livro de Desmond Morris, “A mulher nua” (2005). No decorrer de meu ensaio utilizo também alguns exemplos do livro “O macaco nu” (1967), do mesmo autor. Continuando a percorrer o leque das modificações sexuais que ocorreram em nossa espécie, figuram os lábios, aqueles mesmos que sugam o seio da mãe em busca do leite. Os lábios humanos são os únicos do reino animal “curvados” para fora. Para entender essa característica exclusiva, precisamos compreender que nosso sucesso como espécie se deve em grande parte a um processo evolucionário denominado pedomorfose, que permitiu que humanos conservassem características juvenis na vida adulta – o chimpanzé feto de 16

¹Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Pelotas.

semanas apresenta uma boca com lábios grandes e carnudos, mas essa característica desaparece por volta de 60 dias depois. Tendo isso em mente, a primeira explicação para a ocorrência do formato recurvado dos lábios ser tão distinto seria o formato do seio, como já citado anteriormente, hemiesférico. Enquanto o pequeno chimpanzé gruda sua boca de finos lábios à longa teta de sua progenitora, os lábios do pequeno *Homo sapiens* formam um encaixe perfeito para sugar o leite da mãe. Desmond Morris chama a atenção para o fato de que se os lábios “avessos” tivessem somente a função de sucção, essas estruturas desapareceriam, logo após o desmame. Entretanto, assim como os seios, os lábios desempenham papel sexual também, tornando-se mais rubros e intumescidos quando da excitação, imitando os lábios do órgão genital feminino.

Prosseguindo nosso estudo pelos genitais femininos, nos deparamos com uma estrutura curiosíssima, que possui mais terminações nervosas do que a língua ou do que seu correspondente masculino, o pênis. Esse órgão, formado por um tecido erétil e que somando sua estrutura externa e interna totaliza em média oito centímetros (mas que pode chegar a 12) é o clitóris, localizado na parte superior da vulva. Algumas fêmeas de outros animais também apresentam esse órgão, mas ainda não é completamente elucidado seu papel, enquanto que na fêmea humana, o órgão está direta e exclusivamente ligado ao orgasmo e ao prazer sexual. Além de possuir oito mil terminações nervosas em seu “topo”, elas se limitam a um espaço extremamente pequeno, o que o torna ultrassensível. Grande parte do que sabemos sobre a anatomia do clitóris deve-se à pesquisadora australiana Helen O’Connel, que o estudou com a profundidade merecida, depois de quatro séculos de obscurantismo em relação à real anatomia do órgão, e pelo fato da ciência ser dominada pelos homens, como veremos adiante no capítulo.

Muito bem! Em outras palavras, dentro do contexto evolutivo: sabemos que “os lábios de cima imitam os de baixo” e sabemos que os seios desempenham (também) função sexual, emitindo fortes sinais para o macho. Até aí, tudo bem. Eis que chamo a atenção para duas características que colocam um ponto de interrogação na função meramente procriativa do sexo, em nosso hominídeo primitivo: a fêmea humana é receptiva ao sexo praticamente durante toda a vida, excetuando o momento ligeiramente anterior e um período de recuperação logo após o parto, diferente da maioria das outras primatas e até mesmo de outras fêmeas mamíferas, que, geralmente, são receptivas ao macho apenas durante alguns dias. E o clitóris? Se o clitóris existe unicamente para proporcionar prazer, e sabemos que num estupro, em que não há deleite nenhum da vítima, a mulher pode conceber, qual é a função do orgasmo feminino? O que é essa nova finalidade do sexo que não a perpetuação da espécie? Como, por que e em que momento histórico ocorreu essa transformação?

A exploração de algumas tendências evolutivas na linhagem hominídea é necessária para poder responder às perguntas anteriores e para compreender nossa complexidade sexual atual. Uma descrição mais minuciosa dessas características pode ser encontrada no capítulo XIV, mas, por ora, nos contentamos com as que seguem. A transição do quadrupedalismo total para o bipedalismo é uma dessas características, o que proporcionou a capacidade de ficar ereto e se deslocar somente sobre os membros posteriores, possibilitando grandes deslocamentos. Segundo Stephen Jay Gould em “O polegar do panda” (1980), esse acontecimento data de seis milhões de anos atrás, e o desenvolvimento cefálico foi uma consequência do bipedalismo. Em decorrência dele, houve a liberação das mãos, o que permitiu que o hominídeo manipulasse ferramentas e aperfeiçoasse a caça, aliado ao desenvolvimento cefálico, necessário, dentre outros pontos, para suprir a inferioridade física perante a caça.

Dado as tendências evolutivas acima citadas e não esquecendo o perfil pedomórfico no comportamento do macho, os hominídeos acabavam correndo riscos, para obter alimento para si e para a sua prole. Já as fêmeas eram va-

lios demais para serem expostas, ameaçando a sobrevivência da espécie. Por conseguinte, elas dedicavam-se, além da criação dos filhos, à coleta e ao preparo de alimentos e à organização do grupo, ocupando papéis centrais na vida social. Os machos, que passavam grande parte do tempo caçando, precisavam contar com a fidelidade das fêmeas para quando voltassem, criando assim tendências para o acasalamento. Além disso, com o aumento do desenvolvimento cefálico, a prole crescia vagarosamente, e exigia um cuidado parental maior, ocasionando uma maior convivência dos pares. Assim, a atividade sexual sem fins reprodutivos consolidava a ligação dos casais, através de recompensas mútuas ocasionada pelo prazer sexual. Ainda, com o aperfeiçoamento das mãos, utilizadas na caça, os estímulos e os toques ficaram mais refinados. Temos aí, no princípio da vida do homem e da mulher em sociedade, o surgimento da sexualidade humana.

Em relação ao clitóris, diversas são as hipóteses que buscam esclarecer se existe e qual o seu papel evolutivo na “invenção” da sexualidade. Desmond Morris afirma que a evolução para o bipedalismo dificultaria a fertilização, e o orgasmo induziria a fêmea humana a permanecer deitada após a cópula, aumentando as chances de fertilização. Estudos da década de 70, de Caryl Fox e colaboradores, e dos anos 90, de Robin Baker e Mark Bellis, culminaram na “hipótese da sucção”, na qual as contrações dos músculos do aparelho genital feminino durante o orgasmo criariam um diferencial de pressão, que “suga” e transfere parte do esperma da vagina para o canal cervical, aumentando a taxa de retenção do esperma e aumentando as chances de fertilização, permitindo que a fêmea escolhesse, inconscientemente, o momento ideal para engravidar. Por fim, a cientista Elisabeth Anne Lloyd apresenta, em seu livro *The case of the female orgasm: bias in the science of evolution*, cerca de 20 hipóteses adaptacionistas sobre o orgasmo feminino, expondo seus pontos fracos e defendendo uma hipótese proposta em 1979 por Donald Symons, de que ele não teria função biológica, e seria apenas um subproduto, fruto do desenvolvimento paralelo de embriões femininos e masculinos nas primeiras oito ou nove semanas de vida. A cientista refuta a ideia de que o orgasmo feminino está necessariamente implicado em algum aspecto da fertilidade ou aptidão reprodutiva. Enquanto a comunidade científica ainda não entrar em consenso, é necessário avaliar de forma cuidadosa as abundantes hipóteses, para que não haja espaço para discursos de preconceito e retrocesso que influenciaram profundamente a vivência da sexualidade pela mulher, como veremos no tópico a seguir.

O CASO DA SEXUALIDADE FEMININA: TABUS E REPRESSÃO

Damos um salto gigantesco em nossa narrativa, do momento em que os habitantes das tribos se tornaram cidadãos, passando a viver em vilas e posteriormente em cidades, sujeitos ao cumprimento de regras sociais até o povoamento do mundo inteiro, fruto de uma incrível capacidade adaptativa da nossa espécie. Neste salto, passamos pelas primeiras cidades, pelo surgimento da arte e da cultura e pela consolidação dos indivíduos da espécie humana como seres sócio-histórico-culturais. Fato é que nosso sucesso como espécie se deu em grande parte graças à divisão inicial do trabalho (machos - caça e sustento alimentar da família; fêmeas - cuidado com a prole e organização da tribo), o que foi essencial para a sobrevivência dos indivíduos. Além disso, a espécie humana modificou seus hábitos alimentares, deixando de ser nômade: passamos também a plantar nossos alimentos e nos fixarmos por mais tempo em um mesmo local. Assim, machos não teriam sido capazes de sobreviver sem as fêmeas e vice-versa. A lógica é contrária ao que muitas pessoas costumam utilizar como argumento para justificar, sem sucesso, que comportamentos violentos, autoritários ou de dominação são “instintivos do homem”. Machos e fêmeas ocupavam sim papéis distintos, porém complementares, indispensáveis um para o outro e para a prole. Se o macho apresentava uma maior habilidade física, relacionada à caça,

a mulher apresentava maiores habilidades na organização do grupo e no cuidado com a prole, sendo impossível designar maior ou menor importância a cada aptidão, que constitui-se, então, numa diferença cultural, e não biológica.

Durante o tópico anterior falei sobre como avançamos para o surgimento da sexualidade, porém não a defini, tarefa que não é fácil nem simples, dado o obscurantismo e preconceito com que o tema foi (e ainda é) tratado. A sexualidade é um dos aspectos que nos constitui como seres humanos, nos diferenciando de outros animais. Diferente da concepção ainda existente, a sexualidade não se resume às atividades e ao prazer ligado ao sexo e ao sexo como ato reprodutivo: ela é **construída** ao longo da vida, sob um pano de fundo sócio-histórico-cultural, e engloba a simbolização do prazer em suas mais diversas formas. Os dicionários vernáculos e até mesmo livros mais antigos da área a definem sob um ponto de vista puramente biológico, fisiológico, anatômico, na qual parece ser impossível separar a sexualidade do sexo propriamente dito, das atrações/desejos sexuais relacionados aos órgãos genitais. Essas designações ultrapassadas compreendem a sexualidade como um processo intrínseco ao ser humano, no sentido de “possuí-la naturalmente”, de já “nascer” com a pessoa e conservar-se desta forma. Esta afirmação tem como base o corpo biológico, e parte do pressuposto que todo indivíduo “vive” este corpo da mesma maneira, abrindo precedente para ver como “anormal” quem a vive de uma forma diferente (ver capítulo XIII).

De acordo com Foucault (1979), a sexualidade constitui-se num dispositivo histórico no qual o encadeamento entre a estimulação dos corpos, a intensificação dos prazeres, a incitação do discurso, a formação dos saberes e o reforço do controle/resistência formam uma intrincada rede de relações de poder. Em outras palavras, a sexualidade é uma “invenção social”, já que é formada historicamente por esses diferentes discursos e dado o momento histórico de seu surgimento, discutido no tópico anterior. Ou seja: a sexualidade não se resume à realização do ato sexual e na vida adulta; ela se manifesta em todas as fases da vida do ser humano. Ela é multifacetada, multidisciplinar e polivalente, fruto das vivências de cada indivíduo acerca das suas significações e intencionalidades sexuais; a simbolização e vivência do prazer, e isto se dá sempre amparado por um pano de fundo sócio-histórico-cultural.

A história da sexualidade como um todo e da sexualidade feminina em particular, atravessaram momentos paradoxais durante seu curso, passando por anos de coerção e incompreensão. Uma das instituições que contribuiu e muito para esse cenário foi a Igreja, fundamentando seu discurso misógino e preconceituoso justamente no corpo biológico e em “histórias” disfarçadas de “estórias” (estórias – sinônimo: bíblia). Ela influenciou profundamente os costumes e a vida da sociedade Ocidental, transformando o antes harmonioso equilíbrio entre homens e mulheres num desequilibrado e doentio empoderamento do homem, colocando-o como centro do universo e fazendo-o crer que tudo foi feito (por um Deus todo-poderoso) para ele e para servi-lo, inclusive a mulher (ver capítulo I). Assim, é importante que se situem alguns fatos marcantes dessa história, em nível global e na história do nosso país, que auxiliem a compreender quais são as raízes dessa sexualidade tal como é percebida e vivida hoje no mundo Ocidental, e como a ciência pode e deve contribuir para iluminar essa discussão.

Muito antes do “advento” do cristianismo, o autocontrole e o ascetismo sobre a vivência do prazer já estava presente nas civilizações, segundo o livro de Uta Ranke-Heinemann, “Eunucos pelo reino de Deus” (1996), que utilizo para situar a discussão, nos parágrafos seguintes. No que se chama de “Era Cristã”, a repressão foi sim mais marcante, mas é na Antiguidade que já se observam traços desta abordagem, que se dava através de considerações médicas. Pitágoras (esse mesmo que o leitor deve lembrar, autor do famoso Teorema que leva seu nome) recomendava que o sexo fosse feito apenas no inverno e não fosse feito no verão, mas que mesmo assim era prejudicial em todas as estações,

pois a perda do sêmen pelo homem durante o ato sexual o fazia “perder energia”, o que não ocorria com as mulheres. O coito era visto por outros pensadores gregos como Xenofonte, Platão, Aristóteles e o próprio pai da medicina, Hipócrates, como uma atividade prejudicial à saúde, desgastante, perigosa e difícil de controlar. Os grandes pensadores da época, influenciados pelo gnosticismo, defendiam o ato sexual apenas para procriação, nutrindo um profundo desprezo pelo “corpo terreno”. Essa visão foi acentuada pelo estoicismo, uma das maiores escolas da filosofia antiga, que resumiu a atividade sexual ao matrimônio, e, ainda assim, era destinada aos que “não conseguiam refrear seus desejos carnis”. Assim, o sexo que não se destinasse à reprodução e que fosse praticado fora do casamento, ou em demasia dentro dele, era visto com maus olhos perante a sociedade. O celibato era o caminho para estar mais perto dos Deuses.

A Era Cristã arrastou consigo essas visões e criou outras. A mulher era a própria personificação do pecado, pois foi através de um “deslize” de Eva que Adão e ela mesma foram expulsos do paraíso. Santo Agostinho aparece como um dos homens que fundiu o Cristianismo com o ódio ao sexo e ao prazer, nutrindo um profundo desprezo pelas mulheres, não sem antes viver uma vida de devassidão e entrega ao “pecado da carne”. Contaminou milênios e milhares de pessoas com suas ideias misóginas. São Tomás de Aquino foi mais uma figura de destaque, e ajudou a perpetuar a ideia ainda presente na visão cristã de que a mulher é útil na procriação, na criação dos filhos e para cuidar da casa, sendo completamente desqualificada e desnecessária à vida intelectual do homem. A castidade aparece como símbolo máximo e tenta varrer um passado pecador – Maria é pura e não teve relação sexual com José, e Jesus é fruto desta concepção livre de pecado. Eis que o mito tornou-se história: um pequeno erro de tradução e interpretação, de um livro escrito por uma quantidade incontável de autores e traduzido por outros tantos fez crer que uma virgem concebeu e, até hoje, essas fábulas são utilizadas para justificar comportamentos opressivos, de dominação masculina e de subserviência da mulher.

Em termos nacionais, nos séculos XVI e XVII, o Brasil Colônia tinha presente as raízes da colonização portuguesa também fincadas na repressão da sexualidade mediada pela religião. A ética e a moral familiar, regidas pelos padres, eram tidas como parâmetro de conduta moralmente rigorosas, mas, na maioria das vezes, não seguida. Nas famílias dos grandes fazendeiros/senhores de engenho, terras, escravos e mulheres eram considerados propriedades do homem, sem distinção. Escravas ou esposas eram também “propriedade do dono”, servindo para seu desfrute. A fidelidade implicada no matrimônio só funcionava para a mulher – ela era posse do homem, mas a recíproca não era verdadeira. Caso a esposa traísse ou a jovem se apaixonasse por algum rapaz que não do agrado e do aceite de seu pai, o convento era a solução. Por muitos anos eles foram utilizados como “purgatório”, para mulheres que não conseguiam controlar seus desejos sexuais, ou, para protegê-las dos “perigos do amor”. Ou ainda, simplesmente pelo fato de serem belas, sensuais, insubmissas ou pelo fato de “ousarem” pensar e se rebelar contra esse sistema.

Segundo Uta Ranke-Heinemann, a história do cristianismo é praticamente a história de como as mulheres foram silenciadas e privadas dos seus direitos. Se esse processo já não alcança tanta força no Ocidente não é graças à Igreja, mas apesar dela. Entretanto, a violência, o detrimento da liberdade, dos direitos e da vida da mulher prosseguem, induzindo a crimes bárbaros. Todos os dias os noticiários enchem a nós, mulheres, de medo. Dados do Anuário Brasileiro de Segurança Pública de 2015, que se referem aos dados do ano anterior, apontam para um número que já não é mais alarmante, é assustador: em 2014, uma mulher foi estuprada a cada 11 minutos. Levando em consideração que esse tipo de crime apresenta a maior subnotificação, e que no Brasil, dados do Instituto de Pesquisas Estatísticas Aplicadas (IPEA) apontam para somente 10% dos casos notificados, estima-se que, no mínimo, 527 mil pessoas sejam estupradas por ano no país. O Mapa da Violência 2015 – Homicídio de Mulheres no Brasil, que conta com dados oriundos de censos

demográficos anteriores, dados fornecidos por centrais de atendimento contra a violência e órgãos federais aponta que os homicídios cometidos contra mulheres apresentam um perfil mais violento, com utilização de força física, objeto cortante/penetrante ou contundente, e menor participação de arma de fogo para matar. Aliado a isso, essas agressões são cometidas em sua maioria por pessoas conhecidas da vítima, tornando a violência mais pessoal e relacionada ao gênero.

Ao apresentar os dados sobre a violência contra a mulher no mesmo tópico onde discuto sobre a influência da religião na sexualidade feminina, não estou com isso afirmando que todos os criminosos são religiosos, mas é indiscutível a influência da instituição Igreja para a criação e a manutenção das desigualdades de gênero. Dentre essas “Igrejas”, destaco as neopentecostais, vertente mais recente das Igrejas pentecostais, que iniciou no Brasil na segunda metade dos anos 70 e desde então apresenta um crescimento exponencial. Os dirigentes destas seitas participam ativamente da política partidária, ocupando altos cargos no governo e perpetuando o preconceito contra as mulheres, os homossexuais, as religiões afrodescendentes, os negros e outras minorias, levando ao retrocesso do país em diversas decisões importantes, inclusive na promoção e divulgação da ciência, envergonhando um estado que se diz laico, mas que cada vez mais não pratica essa laicidade.

Essa influência das religiões estendeu-se também ao mercado de trabalho, onde mulheres não eram aceitas e nos anos e décadas seguintes foram renegadas a desempenhar funções de menor prestígio, por muitas vezes recebendo salários injustos e até menores, para desempenhar a mesma função de seus colegas homens. Assim, meu derradeiro, mas não menos importante tópico falará sobre a inserção da mulher no campo das Ciências.

SOBRE A PARTICIPAÇÃO DAS MULHERES NO CAMPO CIENTÍFICO: SOMOS POUCAS OU SOMOS INVISÍVEIS?

Para iniciar este tópico, proponho ao leitor que voltemos algumas páginas e observemos os grandes nomes científicos ligados às Ciências Naturais e aos estudos do campo da Evolução. Alguns deles ganharam capítulos especiais neste livro, por sua preciosa e inestimável contribuição com a Ciência – caso do cavalheiro Charles Darwin, que revolucionou o cenário criacionista vigente na sociedade científica de sua época ao publicar o “Sobre a Origem das espécies por meio da seleção natural”, mudando para sempre o modo de pensar e entender evolução. Nosso outro homem de destaque neste livro é Stephen Jay Gould, que encantou e ainda encanta milhares de leitores espalhados pelo mundo, com seus ensaios inteligentes e engenhosos, tornando-se um dos maiores divulgadores da evolução da vida e da ciência como um todo no século XX. Ao decorrer dos outros capítulos, uma olhada rápida e surge diante de nossos olhos nomes como: Richard Dawkins, Neil deGrasse Tyson, Carl Lineu, Jean-Baptiste Lamarck, Alfred Russel Wallace, Thomas Huxley, Theodosius Dobzhansky, Carl Sagan, todos de importância indiscutível em seus campos de estudo. Em meu próprio ensaio me utilizo de grandes referências como Desmond Morris e Michel Foucault. A lista de cientistas citados é ampla, e todos os estudiosos apresentam uma característica em comum, além de convergirem para a pesquisa no campo evolutivo: seu sexo biológico. São todos homens.

Agora, caro leitor, proponho outra reflexão: faça uma lista mental de dez pesquisadoras mulheres de elevado prestígio na área da evolução. Ou, uma lista das dez últimas mulheres que venceram o Prêmio Nobel em alguma categoria ligada à Ciência (Física, Química, Medicina ou Fisiologia). Difícil, não? Esse pequeno exercício nos guia para uma discussão urgente e necessária, acerca da ausência e/ou da invisibilidade da mulher nas Ciências ao longo da história. Rapidamente, vamos viajar novamente ao passado e tentar responder essas dúvidas.

Uma declaração bastante controversa do então reitor da prestigiada Universidade de Harvard em 2005, Lawrence Summers, incitou um debate acalorado. Em um discurso durante um seminário sobre as mulheres e a Ciência na Nova Inglaterra, Summers afirmou acreditar que a incapacidade das mulheres serem boas pesquisadoras se explicaria nas diferenças biológicas – novamente a diferença de sexo sendo usada, sem sucesso, para explicar uma superioridade intelectual imaginária e, pasmem: por um homem, branco, num alto cargo de poder, em pleno século XXI. Além disso, ele afirmou também que outra hipótese seria pela alta carga horária exigida em cargos de alto prestígio e na área da ciência, que a mulher não disporia. E aí está, nas entrelinhas do discurso de Summers, um dos motivos do por que as mulheres aparecem ou persistem menos no seguimento da vida acadêmica: historicamente, nós desempenhamos uma dupla jornada de trabalho, no trabalho “fora de casa” e ao chegar deste, no trabalho “dentro de casa”.

Um fato histórico que deve ser mencionado é que, no início da Revolução Científica, muitas mulheres puderam envolver-se com atividades ligadas à ciência, porém (com pequenas exceções) sempre à sombra de seus pais, irmãos, maridos ou filhos cientistas, atuando mais como auxiliares do que como produtoras de ciência de fato. Na verdade, por muitos anos as mulheres não puderam nem ser assistentes, pois o acesso às instituições de ensino lhe era negado. Ou, quando elas conseguiam ser aceitas, elas não recebiam os títulos; faziam provas, mas não estavam nas atas – elas estavam lá, mas eram invisíveis. A admissão das mulheres como docentes em universidades é extremamente recente: data do final do século XIX e início do século XX. Hipatia (ver capítulo XIV), a primeira mulher reconhecidamente cientista da Antiguidade, foi alvo da intolerância religiosa e da ignorância machista, sendo assassinada por cristãos. Marie Curie, ganhadora do prêmio Nobel de Física de 1903 e de Química em 1911 teve sua inscrição na Academia de Ciências de Paris negada por duas vezes – uma depois de já ter recebido o prêmio pela primeira vez e outra alguns meses antes de receber o segundo.

As pessoas que pensam que características físicas, anatômicas, enfim, biológicas funcionam como justificativas para sustentar as desigualdades de gênero, acreditam que a mulher teria sido “criada” – sim, por que o leitor provavelmente não ouvirá de alguma dessas criaturas que o ser humano evoluiu, mas sim que foi criado – para a esfera privada, devendo cuidar ainda da prole, da limpeza da caverna, da coleta e preparo dos alimentos, como fazia nos tempos primitivos. Esse tipo de entendimento faz parte do discurso das oposições binárias e hierárquicas que estruturam o pensamento moderno. “Homens são de Marte, mulheres são de Vênus”. O leitor provavelmente já ouviu essa frase, que esconde, atrás da mitologia grega, a dicotomia sempre existente entre o masculino e o feminino na sociedade – Marte, planeta avermelhado, associado ao deus da guerra, Aros e Vênus, o astro mais brilhante a olho nu, foi associada à Afrodite, deusa do amor. Sendo um produto cultural, social e histórico, a ciência também foi moldada nesta dicotomia, sendo mais um motivo para a invisibilidade da mulher nessa área.

SOBRE DESEJOS UTÓPICOS E UM ÁRDUO CAMINHO A TRILHAR

Lembro-me da tarde chuvosa em que recebi, com um misto de felicidade e surpresa, o convite para participar desta transformadora obra, de um dos organizadores deste livro, professor César Jaeger Drehmer. Na época, encontrava-me em vias de iniciar o trabalho de conclusão de curso, que, naturalmente, pelas vivências e afinidades criadas no decorrer do curso de graduação em Ciências Biológicas, fluiu para a área da sexualidade. Não poderia ser diferente: eis aqui minha contribuição para o livro, um capítulo com informações reunidas de diferentes áreas que, me desculpe o leitor,

não tem o objetivo de entrar a fundo na discussão de cada tema, pois para isso seria necessária uma obra inteira. Minha intenção (e creio que esta seja partilhada pelos escritores de todos os ensaios), com este singelo capítulo, é o objetivo que todo cientista/educador deve prezar, no exercício de sua profissão: primeiro, a de ser um multiplicador do conhecimento e segundo, a de inquietar, desestabilizar, criar no leitor, no ouvinte ou no receptor da informação uma perturbação, assim como uma pedra que, ao ser jogada em um lago, provoca uma onda, que se propaga para todas as direções.

Quando da escrita destas considerações finais, pensava em como expressar meu profundo desejo de que as mulheres não se calem. Que as mães, filhas, professoras, cientistas, mulheres assim como eu, não desistam de lutar, da forma como lhe couber: através da luta nas ruas, da luta nos tribunais, da luta através da divulgação de obras como esta, da luta diária. E que também os homens que não sejam contundentes com essa violência apoiem a causa feminista. Foi então que da minha *playlist* ouvi as primeiras estrofes da canção “Cálice”, composta em 1973 por Chico Buarque e Gilberto Gil, canção essa que foi censurada pela ditadura militar vigente da época e lançada formalmente apenas cinco anos depois. Da tentativa de silenciar o povo, surgiu essa belíssima canção, que não poderia encaixar-se melhor neste final de capítulo. Que todos nós nos acordemos e não permaneçamos calados. E, que mesmo com a boca calada, nos reste o peito, para lançar um grito desumano que diz: afasta de nós, mulheres, esse cale-se!

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A. M. **O gosto do pecado**: casamento e sexualidade nos manuais de confessores dos séculos XVI e XVII. Rio de Janeiro: Rocco, 1992. 152 p.
- BAKER, R. R.; BELLIS, M. A. Human sperm competition: Ejaculate manipulation by female and a function for the female orgasm. **Animal Behaviour**, v. 46, p. 887–909, 1993.
- CHASSOT, A. **A ciência é masculina? É sim, senhora!** São Leopoldo: Editora Unisinos, 2006. 136 p.
- CHAUÍ, M. **Repressão Sexual**: essa nossa (des)conhecida. São Paulo: Brasiliense, 1984. 234 p.
- DICIONÁRIO MICHAELLIS. **Sexualidade**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues&palavra=sexualidade>>. Acesso em: 28 fev. 2016.
- FOUCAULT, M. **História da sexualidade I**: a vontade de saber. Rio de Janeiro: Graal, 1979. 151 p.
- Fórum Brasileiro de Segurança Pública - **9º Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2015**. Disponível em: <<http://www.forumseguranca.org.br/produtos/anuario-brasileiro-de-seguranca-publica/9o-anuario-brasileiro-de-seguranca-publica>>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- FOX, C. A.; WOLF, H. S.; BAKER, J. A. Measurement of intravaginal and intra-uterine pressures during human coitus by radiotelemetry. **Journal of Reproduction and Fertility**, v. 24, p. 243–251, 1970.
- LLOYD, E. A. **The case of the female orgasm**: bias in the science of evolution. Massachusetts: Harvard University Press, 2005. 320 p.
- FURLANI, J. **Educação sexual na sala de aula**: relações de gênero, orientação sexual e igualdade étnico racial numa proposta de respeito às diferenças. Belo Horizonte: Autêntica, 2011. 192 p.
- GOULD, S. J. **The panda's thumb**. New York: W.W. Northon & Company, 1980. 343 p.
- LOURO, G L. **O corpo educado**: pedagogias da sexualidade. Minas Gerais: Autêntica, 2000. 176 p.
- MAFFIA, D. Crítica feminista à ciência. In: COSTA, A. A. A.; SARDENBERG, C. M. B. **Feminismo, Ciência e Tecnologia**. Salvador: REDOR/NEIM/FFCHUFBA, 2002.
- MAPA DA VIOLÊNCIA 2015. **Homicídio de Mulheres no Brasil**. Disponível em: <http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2015/MapaViolencia_2015_mulheres.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- MARIANO, R. Os neopentecostais e a teologia da prosperidade. **Novos Estudos**, n. 44, p. 210, 1996.
- MIRANDA, A. **Que seja em segredo**: textos freirático, séculos XVII e XVIII. Rio de Janeiro: Dantes Editora, 1998. 125 p.
- MORRIS, D. **O macaco nu**. Rio de Janeiro: Editora Record, 1967. 264 p.

MORRIS, D. **A mulher nua**. São Paulo: Editora Globo, 2005. 280 p.

NOBEL PRIZE. **Women who changed the world**. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/other/womens-day-2016.html>. Acesso em: 03 mar. 2016.

O'CONNEL, H. et al. Anatomical relationship between urethra and clitoris. **The Journal of Urology**, v. 159, n. 6, p. 1892-1897, 1998.

O'CONNEL, H. et al. Histology of the human clitoris. **Urodynamica**, v. 14, p. 127-132, 2004.

O'CONNEL, H.; SANJEEVAN, K. V.; HUTSON, J. M. **Anatomy of the clitoris**. The Journal of Urology, v. 174, n. 4, p. 1189-1195, 2005.

O. M. S. Organização Mundial da Saúde. **Definition of sexuality**. Disponível em: <http://www.who.int/reproductivehealth/topics/sexual_health/sh_definitions/en/>. Acesso em: 28 fev. 2016.

RANKE-HEINEMANN, U. **Eunucos pelo reino de Deus: mulheres, sexualidade e a Igreja Católica**. Rio de Janeiro: Rosa dos Tempos, 1996. 384 p.

RICHARDS, J. **Sexo, desvio e danação: as minorias na Idade Média**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993. 181 p.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001. 384 p.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa: sexualidade**. 3. ed., Curitiba: Editora Positivo, 2004, 1841 p.

SUMMERS, L. Remarks at NBER Conference in Diversifying the Science & Engineering Workforce. The Office of the President, Cambridge, Mass. January 14, 2005.

CAPÍTULO XIII - HOMOSSEXUALIDADE E O PARADOXO DARWINIANO

Gustavo Medina Tavares¹

Não usarás do macho, como se fosse fêmea, porque isto é uma abominação (Levítico, 18:22).

Aquele que dormir com macho, abusando dele como fêmea, morram ambos de morte, como quem cometeu um crime execrável: o seu sangue recaia sobre eles (Levítico, 20:13).

Citações como essas acima foram e são comumente utilizadas por extremistas religiosos ou por diversas vertentes cristãs para fazer do comportamento homossexual algo impuro e indigno, algo não natural e condenado por seu deus. Além desses, outros trechos da Bíblia são citados, frequentemente, a partir de erros de tradução ou liberdade equivocada de interpretação, para condenar a prática sexual entre pessoas do mesmo sexo.

Entretanto, atualmente, as explicações dentro do campo do comportamento humano não se utilizam mais dos mitos bíblicos ou de supostos eventos históricos presentes nas escrituras como evidências, elas estão balizadas pela ciência e pelos paradigmas atuais de compreensão da natureza humana, levando em conta que o mundo mudou muito desde o estabelecimento do judaísmo e do cristianismo.

O comportamento homossexual entre os humanos é muito bem relatado pela arte e escrita, desde os gregos e romanos até hoje. Diversas obras da Grécia e Roma antigas fazem referência à homossexualidade. Em diferentes épocas, na Grécia antiga, a homossexualidade já foi considerada mais pura do que a heterossexualidade, pois não envolvia só reprodução e também porque era pensado que não ocorria no reino animal (demonstrando a “superioridade humana”). Em outro contexto, ela também já foi condenada por ser mais próxima à natureza, dando uma ideia de instinto sexual incontrolável.

Assim, essa prática não é nenhum fenômeno atual e, pelo que se sabe, existiu em diferentes culturas, com diferentes propósitos e provavelmente acompanhou a evolução homínida². Mas como podemos saber disso? Através de estudos evolutivos e de biologia comportamental comparada. A homossexualidade, por muitos séculos considerada perversão e em algumas décadas atrás catalogada como doença, é amplamente observada na natureza em mais de 1.500 espécies diferentes, como divulgado pelo Museu de História Natural Norueguês da Universidade de Oslo em uma exposição entre 2006 e 2007 sobre a homossexualidade na natureza. O comportamento possui diversas hipóteses científicas para causa e manutenção em diferentes linhagens durante o tempo e algumas delas serão apresentadas neste ensaio.

De acordo com a teoria evolutiva - e aqui não tentarei persuadir o leitor sobre a sua veracidade, pois a mesma é uma teoria amplamente aceita na comunidade científica e suportada por diversas evidências científicas – todos os

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

²Hominídeos são indivíduos pertencentes à família Hominidae, também conhecidos por grandes símios ou grandes macacos (monos), a qual inclui: orangotangos, gorilas, chimpanzés, bonobos e os seres humanos.

seres vivos do planeta são aparentados, uns mais proximamente e outros mais distantemente, sendo assim, possuem ancestrais comuns entre eles. Este parentesco sendo definido como próximo ou distante através de comparações morfo-anatômicas, genéticas/moleculares e comportamentais, dentre outras. Tendo em vista que muitas pessoas não admitem a homossexualidade por atribuir a ela uma condição não natural, vamos explorar a seguir se isso faz sentido sob uma perspectiva científica.

COMPORTAMENTO HOMOSSEXUAL NA NATUREZA

Em Biologia, quando queremos estudar as bases evolutivas de determinado comportamento numa dada espécie, normalmente buscamos saber se ele está/estava presente noutra espécie proximamente aparentada. Entretanto, no caso humano, nós somos a única espécie ainda viva na nossa linhagem (*Homo sp.*), então precisamos ir um pouco mais longe na nossa árvore filogenética³ até nos juntarmos com outros Grandes Símios, dos quais, dentre eles, os mais próximos a nós estão os chimpanzés (*Pan troglodytes*) e os bonobos ou chimpanzés-pigmeus (*Pan paniscus*). Será que o comportamento homossexual está presente nos chimpanzés e bonobos?

Sim, esse comportamento está presente, não só nas espécies mais proximamente aparentadas conosco, mas virtualmente em todos os grupos de animais. A homossexualidade já foi e é tema de muitas pesquisas relacionadas aos primatas (e não só eles) e é bem documentada em ambos os chimpanzés e bonobos. Esses últimos possuem inclusive um registro bem extenso. O comportamento sexual entre indivíduos do mesmo sexo está presente tanto entre machos quanto entre fêmeas, com comportamentos que vão desde cortejo até união monogâmica e parecem ter importante função pacificadora e social no grupo. Existem estudos que observaram esses comportamentos tanto na natureza quanto em cativeiro. Neste ensaio vou dar uma maior atenção aos bonobos e golfinhos, além de obviamente ao ser humano, mas na bibliografia indicada o leitor pode tomar conhecimento de estudos relacionados à homossexualidade (e aqui incluo bissexualidade) de outros grandes símios, macacos do velho e novo mundo, mamíferos aquáticos, aves, invertebrados e em diversos outros tipos de animais.

Os bonobos vivem em comunidades com a presença de ambos os sexos e de várias idades, podendo conter de 60 até mais indivíduos, sendo que frequentemente se dividem em grupos menores. As fêmeas, diferentemente dos machos, normalmente deixam seus grupos originais e imigram para outro quando chegam à adolescência. Discrepante da maioria dos outros grupos simiescos, a sociedade dos bonobos é matriarcal, ou seja, o poder e liderança são exercidos pelas fêmeas. É típico dessa espécie o sistema de acasalamento promíscuo em que ambos os machos e as fêmeas acasalam com mais de um parceiro, sendo que é característico dos machos não participar consideravelmente na criação dos filhotes.

O repertório sexual nessa espécie, especialmente o homossexual, é conhecido no meio científico e é muito variado. Muitas espécies, assim como os bonobos, são de difícil classificação quanto à orientação sexual⁴, pois podem variar individualmente, indo de homossexualidade exclusiva, bissexualidade até heterossexualidade exclusiva (conside-

³Diagramas em forma de árvore que representam as relações de ancestralidade e descendência entre as espécies.

⁴Uma classificação muito usada é a que foi criada por Kinsey, conhecida por “Escala Kinsey”, que tem a função de descrever as experiências sexuais de um indivíduo ou a sua resposta em um dado momento. Essa escala varia de 0 (heterossexualidade exclusiva) até 6 (homossexualidade exclusiva), sendo que de 2 até 5 seriam os vários níveis de bissexualidade incidentais ou predominantes e também possuía o valor x para assexuais (Kinsey et al. 1948; 1953).

rando os meios-termos, aqueles que na maior parte do tempo se comportam de uma maneira, mas o que não impede de variar de vez em quando). Levando isso em conta, podemos considerar os bonobos como uma espécie bissexual em geral. As fêmeas possuem um manual incrível de estimulação genital e um até bem conhecido em se tratando do grupo, o *GG-rubbing* (*Genito-genital rubbing*, comportamento no qual as fêmeas esfregam seus órgãos genitais, havendo a estimulação do clitóris de ambas), o qual, segundo o livro de Bagemihl (1999), indica sensação de intenso prazer evidenciado pelas suas expressões faciais. Às vezes, as fêmeas realizam esse comportamento seguidamente com a mesma parceira. Outras formas de atividade sexual também são conhecidas e como o clitóris em *Pan paniscus* é proeminente, alcançando quase o dobro do tamanho durante a excitação, até penetração clitoriana já foi observada.

Entre os machos, a variedade de atividades sexuais também é grande. Eles possuem um comportamento parecido com o *GG-rubbing* das fêmeas, esfregando seus órgãos genitais eretos um no outro, até mesmo na posição face a face. Sexo oral, masturbação em si próprio ou no companheiro, utilização de objetos para estimulação genital, fricção dos escrotos e dos ânus um do outro em posição de costas, dentre outras, também não são incomuns. Em cativeiro, alguns bonobos machos e fêmeas possuem até um vocabulário de gestos manuais para negociar posições. Embora os machos não aparentem formar casais, diferentemente de algumas fêmeas, em certas ocasiões dois ou três machos se associam como companheiros em outras atividades.

Outra espécie com comportamento sexual extraordinário é a dos cosmopolitas golfinhos-nariz-de-garrafa (*Bottlenose dolphin – Tursiops truncatus*). Entre os mamíferos é rara a formação de casais homossexuais exclusivos de longa duração, porém esses golfinhos são um exemplo. De acordo com Bagemihl (1999), em algumas populações muitos dos machos formam casais homossexuais duradouros, sendo verificados casos de mais de dez anos e até o fim da vida. É possível também que muitos golfinhos machos tenham pouco ou nenhum contato sexual com fêmeas durante toda a vida, até porque as taxas de fecundidade nesses animais tendem a ser baixas e muitos machos não participam da reprodução anual ou dentro do seu ciclo de vida. Apesar de tudo isso, uma das informações mais curiosas no famoso livro de Bagemihl (*Biological Exuberance: animal homosexuality and natural diversity*) é o fato de que não havia sido observada a ocorrência de união monogâmica heterossexual nessa espécie de golfinhos, ou seja, o comportamento sexual é diferente entre os homossexuais e os heterossexuais.

O repertório homossexual entre os golfinhos também é muito variado. O sistema de acasalamento entre os sexos opostos não é muito entendido, mas, como visto, a formação de casais heterossexuais não é muito forte, além de ser possivelmente promíscua. Os modos de estimulação sexual entre esses golfinhos vão tanto de contato entre os ventres, a esfrega dos clitóris e até um tipo de sexo oral conhecido como propulsão bico-genital (*Beak-genital propulsion*), no qual o indivíduo introduz a ponta do focinho na fenda genital do parceiro e assim o estimula. Penetração também já foi observada, já que ambos os sexos possuem a fenda genital (*genital slit*), tornando isso possível. Outros comportamentos sexuais existem e alguns dos descritos aqui não são exclusivos de indivíduos que se relacionam com o mesmo sexo.

Analisamos mais de perto o comportamento sexual dos bonobos e dos golfinhos-nariz-de-garrafa, porém, como dito anteriormente, quase todos os grupos de animais já possuem estudos mostrando atividade sexual entre indivíduos do mesmo sexo, alguns exemplos são: bovinos domésticos, ovelhas da montanha, cabras, cervos, roedores, cães, girafas, diversas espécies de aves, entre vários outros. Como atividade sexual, o leitor não deve pensar diretamente em penetração, mas em vários comportamentos sexuais como alguns dos descritos entre os bonobos e tentativa de monta. O leitor mais interessado no assunto pode encontrar diversos exemplos com extensa caracterização nas bibliografias indicadas nas referências.

O comportamento homossexual faz parte da história evolutiva dos primatas, incluindo a nossa, e não é um fenômeno atual. Como está presente em várias espécies de primatas, não é nenhum absurdo dizer que o ancestral comum entre todos eles e nós provavelmente também o possuía e talvez já existisse até mesmo antes dele. Portanto, o envolvimento sexual entre indivíduos do mesmo sexo não é recente, o que a sociedade pode estar vivenciando é o aumento da exposição ao tema muito porque com a diminuição de preconceitos contra homossexuais, os mesmos têm se assumido (*coming-out*) com maior frequência e maior facilidade comparado com antes, inclusive após a legalização da união civil entre indivíduos do mesmo sexo, que vem aumentando em diversas regiões do mundo. Escrevo parte deste ensaio na semana⁵ em que os Estados Unidos da América legalizaram e constitucionalizaram o matrimônio homossexual. Os EUA é uma das nações em que o tema era e continua sendo de intensa polêmica, mas que inegavelmente influencia muito a cultura global (pelo menos a ocidental) e pode, com isso, provocar um aumento no número de países que aceitam a prática⁶.

CAUSAS PRÓXIMAS DA HOMOSSEXUALIDADE

O leitor, possivelmente, depois de ter visto que a homossexualidade não é um comportamento exclusivo do ser humano e sim presente em vários grupos de animais, pode estar se perguntando: então, o que determina a orientação sexual de um indivíduo? Ainda não se tem uma resposta completa para essa pergunta, porém a ciência já tem alguns possíveis indícios. Esses indícios são, em sua maioria, pré-natais, de caráter genético, hormonal e neurobiológico, existindo algumas pesquisas mais recentes sugerindo até contribuição epigenética⁷, dentre outras. Os estudos atuais demonstram que muito pouca influência educacional ou social pode ser atribuída na maioria dos casos. Não entrarei em detalhes sobre as possíveis causas próximas, até porque não é o foco principal deste ensaio e iria requerer um espaço muito grande devido à extensa literatura disponível e também às incertezas ainda muito grandes. Porém, é válido que se comente sobre algumas das pesquisas que mais têm dado ênfase sobre determinantes sexuais.

Pesquisas sobre determinantes sexuais, como ditas, são estudadas em diversas perspectivas. Alguns trabalhos com viés neuro-hormonal focam na exposição do feto à níveis atípicos de alguns hormônios sexuais, que posteriormente causam o desenvolvimento do comportamento homossexual. A contribuição genética para determinar pelo menos parcialmente a orientação sexual de um indivíduo parece bem clara, baseada em múltiplos estudos com gêmeos homozigotos, nos quais demonstram que é muito mais alta a frequência de um par de irmãos homossexuais entre gêmeos homozigóticos⁸ em relação aos gêmeos dizigóticos⁹. As pesquisas com o viés genético também têm chegado a algumas tendências, como, por exemplo, a de que a homossexualidade masculina seria preferencialmente herdada pela linhagem materna. Todavia, não se chegou ainda à descoberta de nenhum “gene gay” (apesar de alguns autores

⁵O dia foi 26 de Junho de 2015.

⁶No Brasil, a união civil homossexual foi legalizada em 2013, sendo que desde 2011 os casais poderiam realizar a chamada união estável.

⁷Fatores que têm influências sobre o desenvolvimento de um organismo além da sequência de DNA ou o estudo de fatores externos ou ambientais que ligam e desligam os genes afetando como as células os leem.

⁸Gêmeos ‘verdadeiros’ (univitelinos) os quais são produtos da mesma célula-ovo fecundada, assim possuindo um material genético idêntico.

⁹Gêmeos ‘falsos’ (bivitelinos) os quais apesar de nascerem da mesma gestação são frutos de fecundações distintas e não possuem seu material genético idêntico.

frequentemente apontarem para o Xq28) ou algo do tipo e é muito mais provável, baseado nos estudos recentes, que vários genes sejam responsáveis por uma contribuição à orientação sexual.

Sob a perspectiva epigenética, gêmeos também desempenham um papel muito importante. Como existem gêmeos idênticos que possuem orientação sexual diferente, é possível que mesmo que possuam um DNA idêntico a forma como os genes são ativados (expressos) ou desligados pode variar de acordo com pequenas diferenças. Um exemplo ambiental seria a maior ou menor exposição à andrógenos¹⁰ no período embriológico de cada indivíduo. Para uma explicação mais detalhada da hipótese epigenética, o leitor precisaria ter um conhecimento maior sobre esse tema, o que aqui ocuparia muito espaço. Então, indico para aqueles mais interessados no assunto os trabalhos de Rice et al. (2012) e Rice et al. (2013).

Outras pesquisas trabalham em cima de uma teoria imunológica, em que uma mãe acumularia anticorpos contra algumas proteínas expressas só em indivíduos machos durante as suas sucessivas gestações. Essa teoria também relacionada à “Teoria do irmão mais velho”, na qual sugere que haveria uma probabilidade de aumento nas chances do filho mais novo ser homossexual em gestações sucessivas de meninos pela mesma mãe. Existem muito mais pesquisas voltadas para a homossexualidade masculina, possivelmente por razões de sexismo no meio científico (ver capítulo XII).

Jacques Balthazart, um estudioso da neuroendocrinologia do comportamento, em seu estudo sobre os mecanismos biológicos envolvidos na determinação sexual e nos quais muitos dos argumentos e informações deste ensaio foram baseados (inclusive a história que será contada em seguida), chegou à conclusão de que pesquisas psicanalíticas, psicológicas ou sociológicas para a homossexualidade não fornecem, até o momento, evidências concretas e são muito baseadas em ideias freudianas, que por sua vez são cientificamente questionáveis. A ideia de que experiências sexuais ou sociais no início da infância são os maiores contribuintes para o desenvolvimento do comportamento homossexual não é suportada por evidências, visto que crianças criadas por pais homossexuais não tem maior probabilidade de serem homossexuais do que as criadas por pais heterossexuais.

A falta da presença paterna na criação dos filhos também não tem suportes científicos para ser causa do comportamento homossexual, bem como à exposição ao comportamento. Por exemplo, em lugares como a Papua Nova Guiné, onde experiências homossexuais são realizadas entre os meninos adolescentes como forma de ritual de iniciação, a homossexualidade não está presente em maior frequência do que nas outras regiões do mundo. Claro que isso não quer dizer que fatores sociais não influenciam a orientação sexual, mas corroboram que eles sozinhos não determinam a sexualidade do indivíduo.

Um famoso caso de tentativa de mudança de sexo forçada pode ser usado como exemplo (apesar de que o leitor deve ter consciência de que pode ser um caso a parte). No dia 22 de agosto de 1965, em Winnipeg (Província de Manitoba, Canadá), nasceram dois gêmeos idênticos, cuja história de um deles iria entrar para o *hall* das mais fascinantes narrativas médicas já conhecidas. Seus pais, Ron e Janet Reimer, os chamaram de Bruce e Brian. Eles eram tão idênticos que seus pais só os diferenciavam porque Bruce, o mais velho por 12 minutos, nasceu um pouco abaixo do peso. Até aí nada demais, porém quando os gêmeos estavam em torno dos sete meses, Janet começou a notar que seus filhos pareciam um pouco incomodados quando iam urinar. Ela tentou trocar as fraldas, mas isso não fez a menor diferença.

¹⁰Andrógenos são mais comumente conhecidos por hormônios esteroides, responsáveis por diversas funções de caráter sexual nos vertebrados machos, a testosterona é um exemplo, bem como precursores dos hormônios sexuais femininos (estrógenos).

Como toda a mãe preocupada, Janet foi investigar o que estava acontecendo e notou uma pequena anormalidade nos órgãos sexuais de seus filhos: em ambos o prepúcio parecia dificultar a saída da urina. Mais tarde isso foi diagnosticado pelo pediatra dos bebês como fimose¹¹. Nada raro, somente uma condição que poderia ser facilmente corrigida por circuncisão¹². E foi exatamente o que fizeram, os pais marcaram uma circuncisão no mesmo hospital em que os bebês nasceram. Um local de alto padrão para época e que praticava esse tipo de operação diversas vezes ao ano.

A manhã do dia 27 de abril de 1966 não foi o momento de sorte de Bruce. Na cirurgia não foi usado um bisturi comum, mas sim um equipamento que faz uma eletrocauterização¹³. Provavelmente por defeito momentâneo na máquina, a agulha falhou por duas vezes em cortar a pele, então após um aumento na corrente elétrica do aparelho, quando a agulha entrou em contato com o pênis de Bruce, ao invés de funcionar adequadamente, queimou o mesmo. Um urologista foi chamado para avaliação do ocorrido e o resultado foi que os danos eram irreparáveis. Foi decidido depois que o irmão não passaria pela cirurgia. Com o passar dos dias, o pênis secou e quebrou em partes. Era mesmo irreversível, nunca mais voltaria ao normal. Uma reconstrução fálica ainda não era possível na época. Os médicos não deram boas notícias, Bruce não poderia ter uma vida heterossexual normal quando crescesse. O casal Reimer buscou ajuda de outros profissionais, mas as observações não eram positivas. Eles passaram por um drama emocional, ainda mais quando a fimose de Brian desapareceu ao natural, ou seja, Bruce passou por uma cirurgia desastrosa e desnecessária.

Após dez meses do acidente, o casal assistiu em um canal canadense de televisão uma entrevista do Dr. John Money. Ele falava sobre as transformações de gênero. O casal Reimer então lembrou que os médicos do hospital onde aconteceu o acidente haviam mencionado sobre um sexólogo que poderia ajudar eles a criar seu filho como uma menina. Era o mesmo Dr. Money da televisão. O casal Reimer foi consultar com Dr. Money e ele aconselhou que Bruce fosse transformado em uma menina e criado como se sempre tivesse sido uma. Mesmo que o assunto sexualidade fosse controverso na época, muito mais do que é agora, havia a crença de que bebês eram sexualmente neutros, uma tábula rasa, que não possuíam conhecimento inato e eram como uma folha de papel em branco a ser preenchida (por educação, cultura etc.), ou seja, se um menino fosse criado como menina iria se desenvolver como uma mulher heterossexual na maturidade. Então, com a aceitação dos pais, Bruce começou a ser tratado como menina e vestido como tal, além ter seu nome substituído para Brenda.

O Dr. Money, então, começou a monitorar Brenda/Bruce e Brian e também a utilizar métodos para aperfeiçoar a feminização de Brenda/Bruce. O doutor também persuadiu os pais da criança a fazer uma operação de mudança de sexo. Assim, próximo aos dois anos de idade, Brenda/Bruce passou por um processo cirúrgico no qual foi construída uma vagina rudimentar a partir da pele de seu escroto. Como Brenda/Bruce e Brian eram gêmeos monozigóticos, possuíam sua genética idêntica e dividiram o mesmo espaço intrauterino, além de que eles seriam criados no mesmo ambiente familiar, Brian, portanto, serviria como um controle perfeito para os estudos de sexualidade de Money.

O doutor monitorou os gêmeos por quase uma década, utilizando técnicas nada ortodoxas, em que fazia com que os irmãos realizassem ensaios de movimentação sexual, sendo que Brenda/Bruce desempenhava o papel passivo.

¹¹Condição em que a exposição da glândula é prejudicada devido ao estreitamento do prepúcio.

¹²Um tipo de operação cirúrgica para remoção do prepúcio (pele retrátil que cobre a extremidade do pênis).

¹³Procedimento que utiliza energia elétrica para aquecer o instrumento de corte e com isso diminuir o sangramento excessivo e a possibilidade de infecções.

Por anos, Dr. Money apresentava seus relatórios científicos e fazia apresentações em conferências demonstrando o sucesso de sua teoria e de suas técnicas de mudança de sexo e gênero. O caso era tratado de modo a não revelar a identidade dos pacientes então ficou conhecido como o “caso John/Joan”. Segundo o doutor, Brenda/Bruce estava se desenvolvendo praticamente como uma menina normal, exceto por algumas atividades recreativas um pouco masculinas (papel social de gênero), mas geralmente copiando as atividades domésticas da mãe e realizando escolhas que eram atribuídas mais a meninas, como preferência por bonecas como presente. Já seu irmão, Brian, seguia mais os passos do pai e quanto aos presentes, preferia os carrinhos.

O caso, então, funcionou perfeitamente como prova para as ideias de que o ambiente social era decisivo para a identidade sexual e que as crianças eram sexualmente neutras. Outros sexologistas aceitaram a ideia e a espalharam. Entretanto, as coisas não estavam indo tão bem assim. Ao que é relatado, os pais dos gêmeos mentiram sobre alguns resultados do tratamento e, além disso, Brian desenvolveu, mais tarde, esquizofrenia. Brenda/Bruce durante a infância passou por tratamento com estrogênio para desenvolver mamas e Dr. Money ainda tentou convencer os pais a construir uma vagina mais adequada. Porém, os pais pararam de visitar Dr. Money, que sem contato com a família não teve mais dados para publicar.

Anos depois, na década de 90, Milton Diamond, biólogo e sexólogo, junto ao seu colega Keith Sigmundson, descobriram que durante a infância e a puberdade Brenda/Bruce havia se rebelado contra seus pais e que nunca tinha aceitado a feminização, ou seja, recusava ser vestida (o) como menina e, além disso, urinava de pé (desde a infância ele (a) urinava através de um tubo posto num orifício em seu abdome, feito pelos médicos). Ele também sofria de exclusão e *bullying* por seus pares. O (A) jovem recusou o tratamento com estrogênio e odiava os peitos que tinham se desenvolvido. Brenda/Bruce quis saber a verdade e seus pais, depois de relutarem, acabaram revelando. Então após entender o que se passava, aos 15 anos, Brenda/Bruce adotou o nome de David e passou por uma dupla mastectomia¹⁴ e uma faloplastia¹⁵, bem como um tratamento com testosterona, para assim recuperar sua identidade masculina.

O jovem sempre teve atração sexual exclusivamente pelo sexo feminino, sendo assim, sua orientação sexual tinha concordância com seu sexo genético e também com o hormonal, não tendo sido afetado pela educação na infância. Quando adulto, ele se casou com uma mulher e conseguia ter sexo de forma heterossexual com o auxílio de uma prótese. Ele se tornou padrasto dos filhos de sua mulher Jane Fontaine e passou a viver uma vida estável, tanto como marido quanto como pai.

Em 1997, o caso se tornou internacionalmente conhecido, pois Diamond e Sigmundson conseguiram a permissão de David Reimer (Bruce/Brenda) para publicarem o que realmente tinha acontecido e mostrar para os outros médicos que o que Dr. Money havia relatado não era verdade e não deveria ser feito. Depois disso, Reimer tornou sua história aberta através de um artigo publicado por John Colapinto na revista *Rolling Stone* e também por meio do livro *As Nature Made Him: The Boy That Was Raised as a Girl* (New York: Harper Collins, 2000)¹⁶. Portanto, o que havia acontecido na sua infância acabou sendo traumático e demonstrou que a educação sexual não teria exercido efeito, já que sua biologia se sobrepôs. Infelizmente, em 2004, David se suicidou com um tiro na cabeça, pelo que parece ter sido

¹⁴Cirurgia de remoção das mamas.

¹⁵Cirurgia de reconstrução ou aumento peniano.

¹⁶Como a natureza o fez: o menino que foi criado como menina (tradução do autor).

consequência de diversos fatores: problemas financeiros, a morte de seu irmão gêmeo por overdose de antidepressivos em 2002 e o pedido de separação da mulher.

O leitor pode estar se perguntando se já não ouviu alguma história parecida e talvez sim, pois este caso já influenciou alguns episódios em séries americanas e no Brasil foi usada, não integralmente, na novela *Chocolate com Pimenta* (Rede Globo, 2003), com a personagem Bernardo/Bernardete (Kayky Brito). Relatei este ocorrido para então desmistificarmos que orientação sexual mesmo que possa ter alguma base sociocultural, não é produto somente disso, possuindo na parte biológica uma importância substancial. A condição sexual, pelo que as pesquisas têm demonstrado, não é resultado de um fator, mas sim de vários, ou seja, a sexualidade do indivíduo é definida de forma multifatorial e talvez tenha diferenças causais entre as diferentes espécies e sexos.

CAUSAS ÚLTIMAS DA HOMOSSEXUALIDADE

Voltando as perspectivas mais relacionadas à biologia, a existência da homossexualidade gera muita movimentação entre os estudiosos da Biologia Evolutiva e áreas relacionadas. Existe um paradoxo evolutivo quando falamos de homossexualidade, que talvez o leitor também possa ter se dado conta, principalmente quando esse comportamento é exclusivo. Um dos princípios da evolução é a reprodução, pois se uma linhagem não se reproduz ela acaba por ser extinta, então como indivíduos que possuem comportamento homossexual podem continuar existindo através das gerações, não seria esse comportamento prejudicial à aptidão do indivíduo? Como a seleção natural ainda não teria eliminado esse comportamento? Seria a existência da homossexualidade um modo da natureza controlar a superpopulação?

A terceira questão é comum entre o público leigo, mas não tem nenhum suporte científico. A natureza não controla populações, pelo menos não por vontade própria. Muitas espécies que apresentam o comportamento não são superpopulosas, muitos primatas que estão em risco de extinção também o possuem. Sendo assim, com uma baixa população a seleção natural já haveria de ter eliminado o comportamento. Outro ponto a se destacar é que a população humana teve sua explosão populacional há poucos séculos e o comportamento homossexual humano existe há muito mais tempo. Dessa forma, como a natureza poderia ter “criado” a solução para um problema que nem existia, ou seja, controlar uma população antes de ela se tornar excedente? O controle populacional acontece naturalmente através do mecanismo darwiniano de seleção natural, por exemplo, a fome, quando uma população é muito grande para o tamanho dos recursos naturais (alimento) que necessita, ou por doenças, mas nenhum com um objetivo pré-estabelecido. Controle populacional é feito, exclusivamente, por humanos, através de leis, como por exemplo, a lei do filho único da China.

Algumas pessoas, inclusive, se utilizam de um pensamento darwinista vulgar e homofóbico para tentar mostrar que a homossexualidade poderia ser perigosa para a perpetuação da espécie e que com esse tipo de comportamento o ser humano iria acabar extinto (Rohy, 2012). Porém, se este pensamento estivesse correto o comportamento homossexual seria raríssimo ou inexistente na natureza, pois já teria sido eliminado pela seleção natural. Entretanto, o comportamento sexual entre indivíduos do mesmo sexo está presente virtualmente em todos os grupos animais e, na espécie humana, possui evidências históricas desde os primórdios das civilizações. Podemos dizer por inferência que a homossexualidade possivelmente esteve presente em todas ou quase todas as linhagens que deram origem (pelo menos) aos grandes símios, devido ao fato de estar presente entre todas as espécies vivas proximamente aparentadas conosco (Bonobos, Chimpanzés, Gorilas e Orangotangos) e muitas um pouco mais distantemente (outros primatas e mamíferos).

Voltando para a primeira e a segunda pergunta sobre a permanência do comportamento em várias populações e seleção natural. Atualmente, duas possíveis explicações - mas não as únicas - para a manutenção do comportamento sexual entre indivíduos do mesmo sexo na natureza tem se destacado no cenário científico: a sobredominância e a seleção sexual antagonista (Hoskins et al., 2015), as quais levam em conta que a condição homossexual possui fatores genéticos.

A sobredominância pode ser definida como a condição em que o indivíduo heterozigoto para determinada característica possui uma maior aptidão do que seus conspecíficos homozigotos. Um exemplo muito conhecido para a espécie humana é o caso da anemia falciforme e da malária. Explicando melhor, a anemia falciforme é uma doença genética que afeta a conformação da hemoglobina fazendo com que as hemácias adquiram um formato de foice e percam grande capacidade de transporte de oxigênio. Os indivíduos que possuem essa doença não têm uma expectativa de vida muito longa devido às complicações que ela traz. Esses indivíduos são homozigotos recessivos. Os heterozigotos possuem tanto hemácias normais quanto hemácias anormais e os homozigotos dominantes têm suas hemácias, em geral, normais. Como possui um caráter letal, os alelos recessivos são negativamente selecionados em condições normais.

Entretanto, em países africanos com grande incidência de malária foi descoberta uma alta presença do alelo recessivo para anemia falciforme. Isso porque os indivíduos heterozigotos para anemia falciforme tinham uma vantagem adaptativa, sendo mais resistentes à malária. Os homozigotos recessivos já possuíam desvantagem pela anemia e os homozigotos dominantes acabavam tendo desvantagem pela malária. Sendo assim, um alelo (recessivo) que causaria baixa aptidão acabou se mantendo na população porque fornecia aos indivíduos heterozigotos uma vantagem (Hedrick, 2011). Quando aplicado ao traço genético, que condiciona o indivíduo ao comportamento homossexual, o efeito da sobredominância é teorizado de forma similar. Assim, se os alelos que proporcionam um aumento na tendência de manifestação do comportamento homossexual na forma homozigótica fornecerem algum tipo de vantagem equilibrada na aptidão quando estiverem presentes no estado heterozigótico, esse comportamento poderia se manter na população (Hoskins et al., 2015). Algumas vantagens são especuladas em humanos como: maior sucesso em atrair mulheres ou esperma com vantagem na competição em relação ao dos outros homens (Gravilets & Rice, 2006).

A outra possível explicação aceita por alguns acadêmicos é a seleção sexual antagonista. Nela, os alelos que ocasionariam o comportamento sexual entre indivíduos do mesmo sexo favoreceriam de alguma maneira a aptidão do sexo oposto, ou seja, mesmo que tenha um resultado negativo quando expressos em um sexo esses alelos promoveriam uma vantagem compensatória no outro sexo, sendo, dessa forma, mantidos pela seleção (Bailey & Zuk, 2009; Hoskins et al. 2015). Por exemplo, poderiam diminuir a fecundidade nos machos, porém aumentar nas fêmeas (ver Ciani et al., 2008 e suas citações para saber mais). Outras possíveis explicações existem e o leitor mais interessado no assunto pode buscar em revisões como as de Bailey e Zuk (2009) e também Barona e Aponte (2014).

Existem muitas hipóteses, tanto sobre causas, como sobre manutenção da homossexualidade. Nos humanos, ainda temos que somar a parte cultural e essa talvez seja uma possível resposta da permanência da homossexualidade através das gerações, porque assumir que homossexuais não se reproduzem não é correto. Talvez por pressão social e por questões de homofobia históricas, muitos homossexuais (e não descartemos bissexuais) acabam até casando com indivíduos do sexo oposto e se reproduzindo, dessa maneira, e se homossexualidade tiver mesmo origem genética, passando os genes que expressam a condição homossexual adiante. Na natureza, a homossexualidade exclusiva é rara, sendo a bissexualidade mais comum do que ela, portanto, indivíduos que apresentem relações com outros do mesmo sexo se reproduzem, mesmo que seja em uma etapa da vida. Como exemplo temos os casais lésbicos, que frequentemente bus-

cam bancos de inseminação para engravidar e assim passarem genes responsáveis por esse comportamento às gerações seguintes ou até mesmo como no caso dos bonobos em que muitos com comportamento homossexual se reproduzem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante que esta e as outras literaturas citadas aqui sejam divulgadas para que não só casos como o de David Reimer (Bruce/Brenda) sejam evitados, mas também que homossexuais e seus pais entendam que não estão lidando com algo anormal ou que deveria ser curado, mas algo tão natural quanto à heterossexualidade. O mundo animal está cheio de exemplos para isso, porém mesmo que não os tivessem não justificaria algumas pessoas condenarem as outras por serem diferentes, apenas requer que as distintas sociedades sejam respeitadas entre si e que nenhuma tente implementar um regime de padronização sobre a outra. Linguagem avançada e escrita são características presentes apenas na nossa espécie, não são anormais, assim como a homossexualidade não seria se fosse somente uma característica humana.

As pesquisas associadas à homossexualidade em animais não humanos, correlacionadas com casos clínicos humanos, indicam que homossexuais nascem assim e não se tornam por escolha - apesar de não ser impossível que alguém escolha. É importante destacar que mesmo que existam dados mais convincentes de que homossexualidade possui uma determinação com maior influência pré-natal (genética e hormonal) do que pós-natal (social e educação), nós ainda temos um longo caminho para trilhar e muitas pesquisas ainda são necessárias para apontar precisamente os fatores determinantes das condições sexuais humanas e dos outros animais.

Desta maneira, depois de ter tocado nos mais diversos pontos sobre homossexualidade, eu convido o leitor que antes se sentia ameaçado pela diferença, com medo do desconhecido ou completamente mal informado ou ignorante sobre as raízes da sexualidade humana, a mudar. Mudar sua mente. Talvez individualmente seja difícil alterar o mundo ou um paradigma negativo tão entranhado na sociedade. Entretanto, o ser humano é um animal social e por assim ser, compartilha seus pensamentos com o próximo e é dessa forma que se pode mudar. Uma importantíssima cientista, dona de dois prêmios Nobel, uma vez afirmou que “nada na vida é para ser temido, é apenas para ser entendido. Agora é o tempo para se entender mais, para que assim possamos temer menos”¹⁷. O que Marie Curie quis dizer foi que através do conhecimento deixamos para trás velhos medos. Isso pode ser aplicado em muitos dos preconceitos humanos. Assim como o racismo, a homofobia também é uma questão de tomar conhecimento da causa. Deixemo-nos abertos ao conhecimento epistemológico, para que desta forma, velhos preconceitos fiquem no passado e não mais assombrem o presente com suas características tão prejudiciais.

¹⁷Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.

BIBLIOGRAFIA

- BAGEMIHLE, B. **Biological exuberance**: animal homosexuality and natural diversity. New York: St. Martin's Press, 1999. 751p.
- BAILEY, N. W.; ZUK, M. Same-sex sexual behavior and evolution. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 8, p. 439-446, 2009.
- BALTHAZART, J. **The Biology of Homosexuality**. New York: Oxford University Press, 2011. 208 p.
- BALTHAZART, J. Minireview: hormones and human sexual orientation. **Endocrinology**, v. 152, n. 8, p. 2937-2947, 2011.
- BARONA, D.; APONTE, H. La naturaleza multifactorial del comportamiento homosexual humano: una breve revisión. **Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento**, v. 6, n. 3, p. 61-70, 2014.
- CIANI, A. C.; CERPELLI, P.; ZANZOTTO, G. Sexually antagonistic selection in human male homosexuality. **PLoS ONE**, v. 3, n. 6 (e2282), p. 1-8, 2008.
- COLAPINTO, J. **As Nature Made Him**: The Boy Who Was Raised as a Girl. New York: Harper Collins, 2000. 336 p.
- GAVRILETS, S.; RICE, W. R. Genetic models of homosexuality: generating testable predictions. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1605, p. 3031-3038, 2006.
- HEDRICK, P. W. Population genetics of malaria resistance in humans. **Heredity**, v. 107, n. 4, p. 283-304, 2011.
- POIANI, A. **Animal Homosexuality**: A Biosocial Perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 187 p.
- RICE, W. R.; FRIBERG, U.; GAVRILETS, S. Homosexuality as a consequence of epigenetically canalized sexual development. **The Quarterly review of biology**, v. 87, n. 4, p. 343-368, 2012.
- RICE, W. R.; FRIBERG, U.; GAVRILETS, S. Homosexuality via canalized sexual development: a testing protocol for a new epigenetic model. **Bioessays**, v. 35, n. 9, p. 764-770, 2013.
- ROHY, V. On Homosexual Reproduction. **Differences**, v. 23, n. 1, p. 101-130, 2012.

CAPÍTULO XIV - DESDE O FAROL DE ALEXANDRIA

Leandro Silva Nunes¹

Quando fui convidado para participar deste livro, o primeiro tema que me veio à mente foi explicar um caso de amor que eu estava vivendo nos últimos anos. Carl Sagan já escrevera outrora que quando estamos apaixonados queremos contar para todo mundo. Ele se referia a mesma paixão que eu sinto pela Ciência. Assim como ele quis contar sobre sua paixão em seu livro “O mundo assombrado pelos demônios”, eu humildemente espero contar neste capítulo meu caso de amor pela Ciência.

Da mesma maneira que Sagan, minha paixão pela Ciência começou na infância. Fortuitamente, por viver numa região rural, isso me permitiu um contato íntimo com a Natureza. Sem nenhuma técnica de coleta entomológica foi possível me aventurar na captura de insetos, pura e simplesmente com intuito de observá-los mais de perto. Infelizmente tenho que dizer: as crianças são frustradas em sua busca pelo conhecimento; à medida que chegam à idade adulta, são poucas aquelas que mantêm sua mente inquieta. Além disso, muitos saciam sua sede pela realidade em fontes poluídas por pseudociência e pelas superstições. Sagan é um destes que manteve a mente inquieta para realidade, do mesmo modo que muitos outros cientistas, entre os quais me incluo.

O desejo inquietante por descobrir o mundo foi importante para minha trajetória escolar, para meus questionamentos religiosos que me levaram a um posicionamento mais secular durante a adolescência. Por falar nisso, como visto no capítulo I, é comum a Ciência nos levar para o secularismo. Diante destes questionamentos em relação ao mundo, a escolha de entrar num curso de Ciências Biológicas havia se tornado óbvia, afinal, ter uma profissão na qual o trabalho é a tentativa constante de responder todos aqueles questionamentos do tempo de infância é unir o útil ao agradável.

O curso de Ciências Biológicas respondeu questões antigas e levantou numerosas outras, além de abrir as portas para o surgimento de um novo sentimento. Anteriormente, minha busca pelo conhecimento era puramente egoísta, tentando saciar a sede constante por compreender o mundo. Na graduação surgiu o próximo passo para quem entra na Ciência, o desejo de revelar para todo o mundo o que eu descobrira até então, o desejo de dialogar sobre Ciência com colegas e conhecidos, a vontade de contar para todos que eu estava apaixonado.

A Ciência é a busca constante pela verdade sem nunca, no entanto, respondê-la absolutamente, somente aproximando-se mais e mais. Ela não é um método perfeito, mas é o melhor que temos. O cientista deve sempre manter sua mente aberta as hipóteses alternativas que melhor se ajustem a realidade. Como salienta Sagan:

A verdade pode ser intrigante. Pode dar algum trabalho lidar com ela. Pode ser contra-intuitiva. Ela pode contradizer preconceitos profundamente enraizados. Pode não se coadunar com o que queremos desesperadamente que seja verdade. Mas nossas preferências não determinam o que é verdade. Temos um método, e esse método nos ajuda a alcançar não a verdade absoluta, apenas abordagens assintóticas da verdade - nunca

¹Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

lá, apenas mais e mais perto, sempre achando novos e vastos oceanos de possibilidades não descobertas. Experimentos projetados inteligentemente são a chave (SAGAN, 1995, p. 27-28).

O ceticismo científico é um dos pilares da Ciência, não acreditar nas testemunhas, mas nas evidências. Não só ser cético em relação às ideias dos outros, mas ser cético em relação às suas próprias ideias. Desenvolver a autocrítica para disciplinar a mente e assim não se deixar levar por suas próprias ideologias e convicções. Não é uma tarefa fácil desenvolver estas habilidades, mas é uma tarefa necessária para não cairmos na tentação da vontade de acreditar. Como defendeu o filósofo William James “Aquilo que é preciso não é a vontade de acreditar, mas o desejo de descobrir, que é exatamente o oposto” (Russell, 2008, p. 85).

Os cientistas devem ser julgados constantemente por seus pares. Deste modo, quando um cientista apresenta uma tese, ele deve estar preparado para que ela seja escrutinada por seus examinadores em busca de erros. É encontrando erros em hipóteses anteriores que a Ciência muitas vezes avança para chegar mais próximo da verdade. A crítica presta um grande favor à Ciência, por eliminar as hipóteses que podem basear-se em nossos desejos, e não nas evidências. Uma das máximas da Ciência é: as hipóteses devem se adequar às evidências, e não as evidências se adequarem às hipóteses.

Desconfiar dos argumentos das autoridades é outro mandamento crucial na Ciência. Isso porque autoridades nos transmitem uma impressão de integridade imaculável e com isso tendemos a aceitar automaticamente seus argumentos como verdadeiros. É preciso desconfiar e questionar, para que as afirmações de qualquer autoridade sejam escrutinadas.

A Ciência é muitas vezes vista como arrogante por rebater ideias arraigadas no senso comum. Assim como Sagan (2009, p. 35) “... sustento que a Ciência é, em essência, humildade. Os cientistas não procuram impor as suas necessidades e desejos à Natureza; ao contrário, interrogam-na humildemente e levam a sério o que descobrem.” Ela avança pela refutação de suas próprias hipóteses, e um cientista ganha prestígio ao admitir seus erros, diferente de outras profissões. A Ciência admite quando não sabe de alguma coisa, contudo sua essência é descobrir aquilo que ainda não sabe.

ALEXANDRIA E SEUS FARÓIS

Alexandria foi fundada em 331 a.C. por Alexandre o Grande, sobre um vilarejo de pescadores no delta do Nilo, logo após Alexandre conquistar o Egito. Próximo à cidade de Alexandria, na ilha de Faros, foi construído um farol que iluminaria aquela região do mar Mediterrâneo para navegação durante séculos. Este mesmo farol é considerado uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo.

Alexandre além de um estadista ímpar por conquistar tanto com tão pouca idade, “incentivou o respeito por culturas estrangeiras e a busca sem restrições pelo conhecimento” (Sagan, 1980, p. 18). Ter Aristóteles como tutor, um dos maiores inquisidores da realidade, teve grande impacto neste jovem, que unificou as culturas grega, egípcia e persa no Helenismo, um período que impulsionou o desenvolvimento nas ciências (medicina, matemática e astronomia), nas artes, na literatura e na filosofia. É dentro deste contexto que um dos generais e sucessores de Alexandre, Ptolomeu I Soter fundou a Biblioteca de Alexandria, que se tornaria uma “Meca do conhecimento”. Neste sentido, Alexandria foi duplamente iluminada por estes dois faróis. O primeiro, que guiava os viajantes ávidos pelo conhecimento até a cidade, e o segundo, que iluminava as mentes em seu incansável caminho para desvendar a realidade.

Mas de onde vem esta grande curiosidade em relação ao mundo? O que nos propicia tamanha curiosidade está diretamente ligado à inteligência humana e a nossos comportamentos típicos. Ainda assim, vários aspectos notórios de nossa inteligência podem ser observados em outros animais. Por exemplo, a segregação social baseada no sexo e na idade, a formação de grupos de caça e alianças entre machos, tradições culturais para uso de ferramentas e costumes, autoconsciência, cognição numérica e tolerância social são observados em espécies primatas próximas aos humanos, principalmente nos chimpanzés. Ainda assim, nossa sofisticação tecnológica, capacidade de introspecção e de criar e manipular símbolos é incomparável.

As capacidades cognitivas dos primatas reflete o tamanho de seu cérebro que é relativamente grande se comparado aos outros mamíferos em geral. Uma hipótese plausível para a evolução do tamanho do cérebro primata é a questão da sociabilidade. A maioria dos primatas vive em grupos sociais com interações complexas entre eles. Isso exige que eles consigam discriminar amigos de inimigos, que eles consigam manipular o comportamento dos outros, que eles reconheçam seus parentes e que criem estratégias de forrageio para satisfazer as suas necessidades individuais e as necessidades coletivas. Aliás, os chimpanzés formam grupos de caça em que cooperação entre indivíduos, divisão igualitária da carne, percepção das intenções e desejos dos outros, uso de gestos comunicativos e tradições culturais no uso primitivo de ferramentas são componentes importantes.

Algumas mutações genéticas estão provavelmente implicadas na evolução de um cérebro relativamente grande nos primatas. Por exemplo: mutações nos genes *MCPH1* e *ASPM* sofreram forte pressão seletiva nos grandes primatas (humanos, chimpanzés, bonobos, gorilas e orangotangos). Quando estes genes sofrem mutações deletérias na espécie humana levam a microcefalia, uma condição em que o cérebro atinge um volume de aproximadamente 400 cm³, bem menor do que 1200-1600 cm³ de um cérebro adulto normal.

Para entender melhor estes aspectos que nos fazem humanos, temos que usar esta incrível curiosidade que nos define para fazer uma das perguntas que por séculos vem intrigando a humanidade. **De onde viemos?** Bem, a origem da inteligência humana se estende ao longo da história evolutiva que deu origem a nossa própria espécie.

ERGUENDO-SE SOBRE DUAS PERNAS

Para entender a evolução da inteligência humana é preciso primeiramente compreender o contexto ambiental na qual esta evoluiu, e, para isso, retornar a África – o berço da humanidade. Há 10 milhões de anos, eventos geológicos modificaram a região da África Oriental de um ambiente plano coberto com florestas tropicais para um ambiente heterogêneo com montanhas e com a vegetação variando de florestas a desertos. Além da variação espacial no ambiente, havia também variações climáticas ao longo do tempo; uma sucessão de ciclos úmidos e secos, com formação de lagos e posterior aridificação que durava centenas de anos.

Dentro deste ambiente de florestas intercaladas com pastagens, os recursos alimentares encontravam-se espalhados pela paisagem, forçando nossos ancestrais a viajarem por longas distâncias. Uma forma de locomoção bípede era mais eficiente que a quadrupedia primata, além de liberar as mãos para carregar as provisões. Embora outros primatas, como chimpanzés, utilizem locomoção bípede facultativa liberando suas mãos para carregar objetos, a forma de locomoção típica destas espécies é a locomoção com os quatro membros. A locomoção bípede habitual que usa regularmente somente as duas pernas para se locomover é relativamente rara, sendo encontrada atualmente em humanos e aves.

Após a divergência entre humanos e chimpanzés ocorrida há cerca de 5-6 milhões de anos, a linhagem humana sofreu modificações morfológicas que propiciaram uma forma de locomoção bípede como:

- A posição do forâmen magno, um orifício na parte inferior do crânio através da qual a coluna vertebral passa, é deslocada para uma posição mais inferior, permitindo que a coluna vertebral fique perpendicular à mandíbula e ao chão;
- A coluna vertebral passa a ter uma forma de “S”, diminuindo o centro de gravidade necessário para o bipedalismo;
- Aumento e robustez das vértebras lombares, de quatro pares nos outros primatas para cinco na linhagem humana, permitindo maior flexibilidade na parte inferior das costas, que é fundamental para manter o equilíbrio na locomoção bípede;
- Aumento do hálux e do calcâneo para melhorar a estabilidade e absorver o impacto da caminhada;
- Outras modificações no quadril, fêmur, joelho e tíbia também foram necessárias para manutenção do equilíbrio numa postura ereta.

Cabe ressaltar que após a divergência entre as linhagens humanas e a linhagem dos chimpanzés, esta última também sofreu intensa mudança morfológica, com o aumento do prognatismo, dentes especializados e alongamento basicranial. Assim, é insensato inferir que o ancestral comum de humanos e chimpanzés fosse muito semelhante às duas espécies de chimpanzés modernos (*Pan troglodytes* e *Pan paniscus*). Embora um fóssil representante deste ancestral ainda não tenha sido descoberto, provavelmente ele combinava características mistas entre nossas espécies, com um tamanho cerebral e corporal do chimpanzé, peludo com pele rosada, exibindo quadrupedia primata, mas com crânio menos robusto que os chimpanzés.

Embora a divergência entre nossa linhagem humana e aquela linhagem ancestral dos chimpanzés tenha ocorrido entre 5 e 6 milhões de anos atrás, há pouco registro fóssil após esta divergência. Somente há cerca de 4,4 milhões de anos é que surge um dos primeiros representantes da linhagem humana pós-divergência. A esta espécie foi dada o nome de *Ardipithecus ramidus*, e ela vivia num ambiente misto de campos arborizados e possuía uma dieta onívora. Seu tamanho cerebral e corporal era semelhante ao chimpanzé (400 cm³), mas já tinha desenvolvido várias modificações morfológicas para locomoção bípede, sendo ainda um excelente escalador de árvores, enquanto que sua morfologia craniofacial era algo intermediário entre humanos e chimpanzés. Esta espécie não é considerada ancestral comum de humanos e chimpanzés, mas estes traços craniofaciais intermediários podem ser semelhantes ao do ancestral comum. Outra característica marcante é a presença de caninos menores nos machos, geralmente os grandes primatas machos como chimpanzés e gorilas possuem caninos bem desenvolvidos acarretando em um dimorfismo sexual.

Habitando a mesma região do *Ardipithecus ramidus*, mas num período posterior, que se estendeu de 4,2 milhões a 3,9 milhões de anos, o *Australopithecus anamensis* pode ser considerado um provável descendente direto da espécie anterior. Ele também possuía as características típicas do bipedalismo habitual, provavelmente se locomovendo por longas distâncias.

Celebrizado pelo esqueleto de Lucy, o *Australopithecus afarensis* viveu entre 3 e 3,9 milhões de anos na África Oriental, tendo provavelmente evoluído a partir de *A. anamensis*. Esta espécie era onívora, vivendo num ambiente de savana em pequenos grupos sociais. Ela possuía uma locomoção bípede, mas seus braços relativamente longos indicam

que também eram excelentes escaladores de árvores. Seu cérebro de aproximadamente 400 cm³ e seu tamanho de 1,2-1,5 m ainda é semelhante ao chimpanzé.

FABRICANDO FERRAMENTAS

Há cerca de 3 milhões de anos, mudanças climáticas levaram a uma diminuição da temperatura e a glaciação em regiões de alta latitude. Isso fez com que os ambientes da África Oriental e da África Central se tornassem mais secos. A diminuição da precipitação fez com que as zonas florestais se retraíssem, aumentando as regiões abertas que originaram as savanas.

Várias espécies de homínidos viviam nestes ambientes de savana, alguns destes vivendo num período entre 1,2 e 2,7 milhões de anos. Eles apresentavam aspectos cranianos mais robustos, sendo denominadas no gênero *Paranthropus*. Sua robustez era devido às adaptações mastigatórias altamente especializadas para o processamento de matéria vegetal dura. Além disso, neste período as linhagens homínidas haviam se espalhado para África do Sul. Isto indica que várias espécies coexistiam na região e redefine a árvore evolutiva humana de um modelo no qual uma espécie praticamente substituiu a outra para um modelo com múltiplos ramos surgindo e se extinguindo ao longo desta árvore.

Dentro do ambiente de savana, os recursos alimentares estão mais dispersos e nossos ancestrais passaram a depender de um forrageio mais ativo. É dentro deste contexto que viveu o *Australopithecus garhi* há cerca de 2,5 milhões de anos na África Oriental, apresentando um aspecto morfológico mais grácil e sendo talvez a primeira espécie a fabricar ferramentas de pedra usada para destrinchar carcaças. Uma dieta carniceira traz recursos com alta densidade energética que são importantes para espécies que vivem em ambientes com recursos alimentares dispersos.

A transição de *Australopithecus* para o gênero *Homo* leva em consideração principalmente o aumento do tamanho do cérebro. Algumas alterações genéticas podem ter sido importantes para a modificação neste órgão. Cabe ressaltar que o crescimento do cérebro ao longo da linhagem humana foi resultado de múltiplas mutações, que eram dependentes umas das outras e favorecidas pela seleção natural.

O gene *SRGAP2* codifica uma proteína que controla a migração e diferenciação neuronal durante o desenvolvimento do cérebro. Os mamíferos têm apenas uma cópia deste gene, contudo, esta forma ancestral *SRGAP2A* sofreu uma duplicação incompleta há 3,4 milhões de anos, fazendo surgir uma nova cópia, *SRGAP2B*. Mais tarde, há 2,4 milhões de anos, *SRGAP2B* foi duplicado fazendo surgir outra cópia *SRGAP2C*. As novas cópias antagonizam a função da forma ancestral atrasando a velocidade de maturação neuronal e conseqüentemente aumentando a densidade de sinapses no córtex cerebral. Desta forma, estas duas duplicações durante a transição do gênero *Australopithecus* para o gênero *Homo* podem estar relacionadas com a expansão do neocórtex, a camada mais externa do cérebro ligada a funções cognitivas superiores, ocorrida durante esta transição. O gene *CMAH* codifica uma enzima que sintetiza o ácido siálico Neu5Gc que atua inibindo o crescimento do cérebro após o nascimento. A linhagem humana perdeu este gene há 2,5 milhões de anos, e isso permitiu o crescimento cerebral que ocorre em bebês humanos após o parto.

O gene *MYH16* codifica uma proteína de filamentos de miosina que é expressa exclusivamente nos músculos da mastigação, permitindo uma maior força de mordida. A transição para uma dieta de alimentos menos duros aliviou a pressão seletiva para ter uma musculatura mastigatória forte e com isso, o gene *MYH16* foi perdido na linhagem humana, há 2,4 milhões de anos. A perda de função gênica pode ocorrer como uma resposta evolutiva em populações

que estão sofrendo mudanças ambientais ou comportamentais, porque certas funções gênicas podem ser dispensáveis para viabilidade do organismo e elas têm sido importantes na evolução das espécies, como visto no capítulo IV. Além disso, o enfraquecimento destes músculos pode ter libertado o crânio de certas restrições estruturais permitindo o aumento do cérebro.

A liberação das mãos, proporcionada pela locomoção bípede juntamente com a evolução de um cérebro maior, levou ao início da fabricação de ferramentas e melhor comunicação grupal para estratégias de forrageio ativo em ambientes abertos. A carne obtida pela coleta de carcaças trazia um alimento rico em calorias, proteínas e gorduras. Isso por sua vez permitiu um desenvolvimento ainda maior do tamanho do cérebro e melhoria constante na tecnologia de ferramentas.

O primeiro representante do nosso gênero conhecido é o *Homo habilis*, que viveu entre 2,2 e 1,6 milhões de anos nas savanas africanas. Ele tinha uma dieta onívora que incluía carne, e fabricava ferramentas de pedra para destrinchar carcaças abatidas por outros predadores. Seu corpo era semelhante aos *Australopithecus* de aspecto grácil, mas seu cérebro era 50% maior (600 cm³) e havia marcante redução do prognatismo.

Foi neste contexto de carniceiro das savanas que talvez tenha surgido outra característica que diferenciou nossa espécie dos outros homínídeos: a perda de pelos. O forrageio ativo em ambientes de savana produzia um considerável aumento de temperatura corporal. O superaquecimento apresenta sérios problemas, com danos aos órgãos, principalmente ao cérebro que havia se tornado maior nestes ancestrais. O mecanismo de arrefecimento primata é baseado em glândulas sudoríparas apócrinas e sebáceas que produzem um suor oleoso que fica emaranhado na pelagem, dificultando a evaporação do suor, responsável por dissipar o calor para o ambiente. Contudo, em nossa linhagem houve o aumento de glândulas sudoríparas écrinas, que produzem um suor mais aquoso, que evapora com maior facilidade, dissipando o calor. Assim, a perda do revestimento piloso juntamente com aumento das glândulas écrinas propiciaram um mecanismo de arrefecimento (dissipação de calor) mais eficaz.

O SENHOR DO FOGO

Há 1,8 milhões de anos, vastas savanas haviam se estabelecido na África Oriental e o clima havia se tornado mais variável. Neste ambiente imprevisível e árido, uma dieta mais energética baseada em carne e uma maior flexibilidade comportamental estavam sob forte pressão seletiva. Isso acontece porque nestes ambientes áridos, os recursos vegetais mais energéticos, como os tubérculos, eram escassos, enquanto que animais herbívoros pastadores, como antílopes e gazelas, eram os recursos mais abundantes para alimentação com alta exigência energética. Homínídeos com cérebros e corpos maiores que viviam nesta época precisavam destas altas demandas energéticas. Além disso, recursos vegetais das savanas, mesmo tubérculos, são pobres nos ácidos graxos poli-insaturados docosahexaenoico e ácido araquidônico, que são componentes importantes do cérebro. Como o cérebro de nossos ancestrais continuava crescendo após o nascimento, uma dieta rica em gorduras seria importante para manter este ritmo de crescimento.

Como discutido anteriormente, os primatas têm cérebros maiores provavelmente para resolver os problemas da vida em sociedade. Geralmente, quanto maior o cérebro de uma espécie primata, maior é seu grupo social. Em regiões abertas das savanas, nossos ancestrais estavam expostos a predadores, e ter um grupo social maior é uma defesa eficaz contra predação. Um cérebro grande que pode ser moldado pelas experiências durante a vida permite maior flexibilidade comportamental, que por sua vez é importante em ambientes imprevisíveis, pois permite aos animais uma

grande gama de respostas às variações no ambiente físico e também à dinâmica do ambiente social.

Nossos ancestrais há muito tempo eram bípedes e uma das adaptações morfológicas para este tipo de locomoção era uma região pélvica mais estreita. Isso trazia um problema conhecido como dilema obstétrico, porque o canal do parto era menor e a linhagem humana tinha desenvolvido cérebros maiores, ou seja, havia um risco de que tanto o filho quanto a mãe morressem durante o parto. Para superar o dilema obstétrico, as fêmeas precisavam dar à luz a bebês mais imaturos, cujo cérebro continuaria crescendo após o nascimento. O problema é que bebês mais imaturos são mais dependentes do cuidado dos pais. Foi dentro deste contexto que pode ter surgido outra característica presente nos humanos modernos: o cuidado cooperativo da prole.

Na linhagem humana, as fêmeas se reproduzem em curtos intervalos de tempo (em média de 2-3 anos), isso significa que os irmãos mais velhos ainda estarão convivendo com a mãe quando ela der a luz aos irmãos mais novos. Além disso, na linhagem humana a maturidade sexual é mais tardia, e assim, os irmãos mais velhos ainda serão inférteis e podem contribuir com o cuidado do irmão sem prejudicar sua própria reprodução. A expectativa de vida também aumentou em nossa linhagem, e com isso, as avós que não estão mais se reproduzindo também podem contribuir com o cuidado dos netos.

O cuidado cooperativo traz muitas vantagens: libera a mãe para ter outros filhotes e expõe o filho recém-nascido, o qual tem um cérebro ainda em desenvolvimento a um ambiente rico em interações sociais. Além de ter suas necessidades fisiológicas supridas pelos cuidadores cooperativos, os jovens aprendem socialmente a fabricação de ferramentas, estratégias de caça coletiva e outras formas de cultura transmitidas no seu grupo social.

O surgimento do *Homo erectus* há cerca de 1,8 milhões de anos marca um evento evolutivo importante na linhagem humana com um grande aumento do cérebro (800-900 cm³) que era 70% maior que do *Australopithecus afarensis*. Além disso, seu corpo também havia aumentado de tamanho (1,5-1,8 m) e a robustez craniofacial havia diminuído ainda mais. Esta espécie era um caçador das savanas da África Oriental usando ferramentas ainda mais sofisticadas que seus ancestrais. Embora não tenha sido exclusivamente um carnívoro, houve um significativo aumento no consumo de carne, que como discutido anteriormente, é uma importante fonte de calorias e de gorduras que sustentam o crescimento cerebral. Alterações morfológicas no ombro permitiam o arremesso de projéteis, e algumas adaptações para corrida, como fêmures mais longos e fortes haviam se desenvolvido, tendo em vista que este caçador das savanas tinha uma área de vida maior e precisava se deslocar mais.

Os intervalos entre os nascimentos haviam sido reduzidos e o atraso no desenvolvimento que permitia bebês imaturos e maturação sexual tardia também evoluíram permitindo a evolução do cuidado cooperativo da prole e da aprendizagem social dos indivíduos mais jovens. A flexibilidade ecológico-comportamental oriundas de um cérebro maior enriquecido com aprendizagem social permitiu ao *Homo erectus* colonizar novos ambientes, facilitando sua dispersão primeiramente da África Oriental para África do Sul, e posteriormente, no primeiro evento migratório da linhagem humana para fora da África, que levou a colonização da Ásia e Europa: esta migração é conhecida como “*Out of Africa I*”.

Há cerca de 1 a 1,5 milhões de anos, o *Homo erectus* também dominou o fogo, que trazia várias vantagens como proteção ao frio, afastamento contra predadores e cozimento de alimentos. Sua tecnologia de fabricação de ferramentas de pedras também havia se tornado mais sofisticado levando ao desenvolvimento da Cultura Acheuliana. Esta cultura é marcante por ser um melhoramento das técnicas anteriores, sinal de que a aprendizagem social em que artesãos experientes na fabricação de ferramentas ensinavam indivíduos ingênuos permitindo não só a transmissão cul-

tural através das gerações, mas também que uma geração aproveitasse os esforços da geração anterior como ponto de partida para inovação. Estas novidades culturais surgiram juntamente com o aumento contínuo da capacidade craniana desta espécie ao longo dos milênios que atingiu 950 cm³. Além disso, esta espécie havia colonizado uma vasta região se estendendo pela África, Ásia e Europa. Estas regiões tinham ambientes diferentes e alguma variação morfológica havia surgido nas populações.

A perda de pelos e a vida nos ambientes abertos das savanas haviam exposto nossos ancestrais aos efeitos danosos da radiação ultravioleta emitida pelo Sol. Além disso, eles viviam em regiões equatoriais onde esta radiação é mais forte. A melanina é uma barreira de proteção contra radiação ultravioleta e sua alta concentração torna a pele mais escura e, portanto, mais protegida. Assim, houve uma pressão ambiental para uma maior concentração de melanina para proteger os tecidos contra a radiação. O gene *MC1R* é responsável por determinar a produção de melanina. Desde a divergência com os chimpanzés ocorreram 10 mutações neste gene que foram selecionadas em nossa espécie, indicando uma forte pressão seletiva em ambientes com alta exposição à radiação ultravioleta para a cor de pele escura. Posteriormente, quando algumas populações da nossa espécie migraram para regiões onde a exposição à radiação ultravioleta é mais baixa, novas mutações surgiram em vários outros genes (*KITLG*, *ASIP*, *SLC24A5* e *SLC45A2*) nestas populações e isso fez com que a cor da pele se tornasse extremamente variável na espécie humana.

FALANDO COM O HOMEM SIMBÓLICO

O aumento do cérebro na linhagem humana começou a atingir tamanhos próximos aos humanos atuais. Várias alterações genéticas co-evoluindo com modificações culturais podem ter propiciado este crescimento, e algumas delas serão citadas a seguir. O gene *SRGAP2* havia sofrido duas duplicações durante o surgimento do gênero *Homo*. Há cerca de 1 milhão de anos, a duplicata *SRGAP2B* sofre outra duplicação fazendo surgir a cópia *SRGAP2D*, assim nossa linhagem passa a ter quatro cópias deste gene. Outra duplicação que pode estar envolvida neste novo aumento no tamanho cerebral é aquela que levou ao surgimento do gene *ArhGAP11B*. Este gene codifica uma proteína envolvida no aumento do número de neurônios que resulta na expansão do neocórtex e, ele surgiu a partir da duplicação incompleta do gene *ArhGAP11A*, sendo encontrado somente no gênero *Homo*.

Há cerca de 800 mil anos surgiu um novo homínido na linhagem humana que foi nomeado *Homo heidelbergensis*, que são conhecidos como os humanos arcaicos. Seu cérebro tinha cerca de 1260 cm³, atingindo proporções próximas ao tamanho do cérebro de nossa espécie, mas ele era um pouco mais robusto que nossa espécie atual. Ele surgiu primeiramente na África, mas logo se dispersou para Ásia e Europa substituindo gradualmente seu predecessor. Esta migração é conhecida como “*Out of Africa II*”.

Os humanos arcaicos possuíam ferramentas Acheulianas com técnicas de fabricação bem mais sofisticadas que seus predecessores. Eram caçadores eficazes, utilizando lanças e aproveitavam as peles dos animais abatidos para fazer roupas e tendas. O uso do fogo para preparação dos alimentos tornou-se comum. Provavelmente, eles ornamentavam seu corpo com pintura a base de ocre vermelho sugerindo um comportamento simbólico.

Alguns aspectos evoluídos em nossos ancestrais anteriores como a caça coletiva, fabricação de ferramentas, aprendizagem social e cuidado cooperativo da prole podem ter facilitado a evolução de outra característica marcante em nossa espécie, a linguagem. Isso porque todos estes aspectos de uma vida em grupos sociais altamente cooperativos

necessitam que se desenvolvam algumas capacidades cognitivas como empatia e teoria da mente. A empatia é a capacidade de se colocar no lugar de outro indivíduo, permitindo altos níveis de tolerância social para com jovens e adultos, enquanto que a teoria da mente é a capacidade de ter consciência de sua própria mente e de que outros indivíduos também possuem consciência, intenções, desejos e conhecimento. Esta faculdade mental permite a paciência para realizar tarefas que exigem concentração como fabricar ferramentas e para o processo de ensino-aprendizagem.

Uma das regiões cerebrais que amadurecem mais tarde nos humanos quando comparados aos chimpanzés é o córtex pré-frontal. Esta foi uma das regiões que mais cresceram na nossa linhagem e é responsável pelas funções executivas e controle emocional do cérebro, ou seja, pela tomada de decisões e para moderar comportamentos sociais. Estas funções são essenciais para a caça coletiva, fabricação de ferramentas, aprendizagem social e outras atividades como cooperação em grupos sociais.

A linguagem humana é extremamente sofisticada se for comparada aos outros animais. Com ela é possível transmitir informações de maneira rápida e eficiente, sendo vital para o planejamento dentro de grupos sociais. Além de permitir a troca de informações sobre o mundo, ela possibilita que indivíduos compartilhem pensamentos intencionais e que o conhecimento seja acumulado através das gerações. Aliás, o acúmulo do conhecimento em sucessivas gerações é um dos pilares da Ciência.

A linguagem gramatical humana lida com vários elementos como semântica (o que as palavras realmente significam), sintaxe (ordem das palavras afeta o significado), sistema sensorial para captar as informações, memória para lembrar o significado das palavras, sistema de vocalização e gestos para transmitir aos outros indivíduos o que queremos dizer.

O gene *FOXP2* codifica um fator de transcrição que controla a expressão de outras proteínas sendo importante para capacidade de falar. Acontece que humanos modernos e Neandertais possuem duas mutações na sequência deste gene, que o fazem diferir da sequência original encontrada nos chimpanzés e outros primatas. Esta foi uma das modificações para evolução da linguagem, embora várias outras devam ter influenciado como aquelas responsáveis pelo aumento do cérebro e das capacidades cognitivas, além obviamente da própria evolução cultural dos nossos ancestrais.

Na Europa e na Ásia, os humanos arcaicos gradualmente evoluíram características para condições mais frias originando o *Homo neanderthalensis* há cerca de 400 mil anos. Seu cérebro também cresceu para atingir 1427 cm³, embora este crescimento tenha sido diferente daquele que originou nossa espécie. Seu crânio tinha uma forma mais elíptica, enquanto o crânio da nossa espécie é mais esférico. Isso sugere que o córtex frontal e parietal dele tenha sido menor, e o crescimento ocorreu no córtex occipital.

O Neanderthal possuía um kit de ferramentas sofisticadas para caça, com lanças com ponta de pedra afiada, facas de pedra para cortar carne, raspadores para remover a pele dos animais para fazer roupas e tendas e vários artefatos de pedra para tratar a madeira. Eles enterravam seus mortos com ferramentas de pedra, flores ornamentais e conchas sugerindo que haviam desenvolvido senso estético da arte e rituais religiosos.

PENSANDO SOBRE O PENSAR

Há cerca de 200 mil anos surgiu o *Homo sapiens* na África. Seu cérebro havia atingido cerca de 1496 cm³, ou seja, ele havia triplicado de tamanho desde que seus ancestrais divergiram dos ancestrais dos chimpanzés. E ele logo colonizou toda a África.

Há 100 mil anos, houve o último *boom* no aumento cerebral e logo depois o aumento na demografia populacional e de inovações culturais, com posterior dispersão para fora da África dos humanos modernos. Esta migração é conhecida como “*Out of Africa III*”. Os humanos modernos fizeram várias inovações culturais como invenção do arco e flecha, arpões para pesca, agulhas de marfim para fabricação de roupas, artigos de luxo, obras de arte e objetos cerimoniais.

O comportamento predatório desenfreado dos caçadores da nossa espécie levou a dizimação da megafauna, e consequentemente eles começaram a estocar cereais para complementar a crescente escassez de carne há cerca de 13 mil anos no Oriente Médio. Gradualmente, os humanos promoveram a Revolução Neolítica com o surgimento da agricultura e domesticação dos animais ocorrendo em várias populações ao redor do mundo. A Revolução Neolítica muda completamente a perspectiva humana: a estocagem permite uma fonte futura de alimentos, liberando as pessoas para outras atividades, pois diminui o forrageio ativo; a organização social se altera já que as pessoas precisam aprender a cooperar com os outros que não são parentes próximos, a medida que as comunidades se tornaram maiores; uma mudança de mentalidade da ousadia, bravura e excessos dos caçadores nômades para calma, prudência e frugalidade dos agricultores.

A evolução cultural pode sobrepujar a seleção natural iniciando novos eventos evolutivos. O advento da agricultura trouxe grande progresso tecnológico devido à independência do homem em relação à natureza, porém trouxe problemas para saúde humana e contribuiu para o surgimento da desigualdade social. A eussocialidade entre indivíduos não aparentados tornou-se marcante na nossa espécie, mas este fenômeno é contrastado pela notória capacidade humana para violência em diferentes níveis: guerras, torturas, misoginia, racismo, homofobia, xenofobia. Vivendo em comunidades cada vez maiores, as vilas permanentes logo se tornaram as primeiras cidades. A flexibilidade comportamental para vida em pequenos grupos sociais de caçadores passou a ser duramente regida por fatores culturais. Surgiram códigos morais para motivar e regulamentar nossos comportamentos como Ashoka (Índia), Hamurabi (Babilônia), Licurgo (Esparta) e Sólon (Atenas).

As adaptações da mão que propiciaram a fabricação e uso de ferramentas também permitiria o registro da cultura através da escrita, e se pode salientar que a escrita é a prova da derrota da memória. Isso porque a escrita supera a transmissão cultural através da linguagem oral ou gestual. Com ela podemos ter livros e com eles conhecer o passado, suas ideias e descobertas, suas grandes mentes, seus questionamentos, seus preconceitos, mitos e fábulas, seus códigos morais e leis, seus medos e costumes. A escrita nos permite ler os hieróglifos do Antigo Egito ou a escrita cuneiforme da Suméria. Nos permite ler uma história fantástica contemporânea como Senhor dos Anéis até ficções dos primórdios da civilização como o Épico de Gilgamesh escrito há 1220 a.C. Através dela nossa espécie iniciou a acumulação do conhecimento adquirido ao longo dos milênios, e as inovações tecnológicas e científicas puderam ser transmitidas para gerações posteriores.

Nossos instintos naturalmente curiosos em relação ao mundo com faculdades mentais para uma consciência reflexiva nos levaram a iniciar os questionamentos sobre a vida e a morte, sobre o mundo que nos cerca, sobre o passado e o futuro. Isso levou primeiramente ao desenvolvimento das superstições e religiões. Como defendido por Christopher Hitchens:

A religião foi nossa primeira tentativa de compreender a realidade e, por essa razão, acredito que seja nossa pior tentativa, a mais primitiva e a mais retrógrada, pois foi a primeira e a mais falha. É nossa primeira tentativa de filosofar, de descobrir o que é a verdade, o que é o bem, o que é o certo, mas é a mais primitiva (SCHÜLER et al., 2008).

Somos uma espécie literária cujos cérebros são máquinas para destilar padrões do mundo. Como salientado no capítulo I, esta propensão em extrair significado de acontecimentos que são muitas vezes aleatórios e caóticos e agrupá-los em uma narrativa trazem sérios empecilhos para compreensão da realidade. Além disso, a evolução moldou a mente infantil para se saturar com a cultura de seu povo. Aprendemos rapidamente o idioma dos nossos pais e suas complicadas regras gramaticais por transmissão cultural. O problema é que o cérebro infantil é pré-programado para absorver informação útil a altas taxas, mas não possui filtros para impedir a entrada de informação prejudicial. As crianças são incrivelmente crédulas, abertas a quase qualquer sugestão, vulneráveis a subversão. Desta maneira, se tornaram alvos fáceis para disseminação das superstições quando estão buscando avidamente entender a realidade que as cerca.

As tentativas posteriores de entender a realidade propiciaram o surgimento da Filosofia na Grécia Antiga através de um questionamento sistêmico da realidade. O filósofo grego Sócrates se comparava a um moscardo, pois irritava as pessoas de Atenas com seus questionamentos constantes. Ele defendia que as pessoas devem parar suas atividades para pensar, pois sem o pensamento a vida não valeria a pena ser vivida. Foi bebendo da fonte da Filosofia Grega de Sócrates e seu pupilo Platão, que surgiu Aristóteles, outro grande questionador da realidade que seria o tutor de Alexandre o Grande. Assim, retornamos a Biblioteca de Alexandria onde se iniciou o primeiro grande repositório do conhecimento cumulativo dos nossos antepassados.

A Biblioteca teve vários pensadores importantes, mas a matemática, astrônoma, filósofa e professora Hypatia é talvez a mais singular. Sua paixão pela busca de respostas era tão grande que ela devorava conhecimento: matemática, astronomia, filosofia, religião, poesia e artes. Sua oratória e retórica também se tornariam importantes para ela se destacar como professora, isto tudo sendo uma mulher dentro de uma sociedade patriarcal.

Hypatia conservava o espírito infantil da busca por conhecimento, daqueles que não entendem porque alguém perguntaria: Qual o motivo de querer tanto obter respostas em relação a como o mundo funciona? Pois, não é possível uma resposta a esta pergunta, é aquele tipo de pergunta que não faz sentido por si só. É claro que o conhecimento traz inúmeras vantagens para humanidade, mas no âmago do cientista, a única resposta àquela pergunta é: Queremos entender como o mundo funciona simplesmente porque é insuportável viver sem saber como ele funciona. Santo Agostinho disse que uma das tentações mais perigosas era a ‘doença da curiosidade’, que nos levava a tentar descobrir os segredos da natureza.

Em 415 d.C. Hypatia foi assassinada pelos cristãos. Embora a queda de Roma marque o fim da Idade Antiga e início da Idade Média, este homicídio é o marco inicial da Idade das Trevas porque juntamente com Hypatia morreu o centro intelectual da antiguidade. Felizmente, o espírito curioso da nossa espécie nos proporcionou um renascimento intelectual, que se confrontou com o obscurantismo medieval para iluminar novamente nossas mentes. Após um longo retrocesso, a Ciência reiniciou seu progresso que nos assegurou um conjunto descomunal de conhecimento sobre a realidade.

Os passos caminhados pela humanidade na evolução de uma inteligência mais complexa foram iniciados há milhões de anos nas florestas e savanas africanas. Passos estes que foram dados sem rumo, sem intenções, sem vislumbrar o horizonte. Um caminho em que mutações selecionadas por um mundo físico imprevisível e por um ambiente social dinâmico levaram ao desenvolvimento de características cognitivas, senão únicas, bem mais sofisticadas. Estes passos anteriores permitiram a construção de um centro do conhecimento como a Biblioteca de Alexandria. E mesmo após a queda final desta Biblioteca devido ao apogeu da ignorância na Era das Trevas em que a teocracia dominou o mundo ocidental, nossas habilidades fizeram ressurgir o questionamento implacável em relação ao mundo, de modo que a Ciência nos ilumina desde o farol de Alexandria.

BIBLIOGRAFIA

ALTMAN, J. **Neural and Mental Evolution: Origins of the human body, brain, behavior, consciousness, and culture.** Laboratory of Developmental Neurobiology, Inc. 2013.

ANTÓN, S. C.; AIELLO, L. C.; POTTS, R. Evolution of early *Homo*: an integrated biological perspective. **Science**, v. 345, n. 6192, p. 1236828, 2014.

ASFAW, B. et al. *Australopithecus garhi*: a new species of early hominid from Ethiopia. **Science**, v. 284, n. 5414, p. 629-635, 1999.

CERLING, T. E. et al. Comment on the paleoenvironment of *Ardipithecus ramidus*. **Science**, v. 328, n. 5982, p. 1105, 2010.

DENNIS, M. Y. et al. Evolution of human-specific evolution of novel SRGAP2 genes by incomplete segmental duplication. **Cell**, v. 149, n. 4, p. 912–922, 2012.

FLORIO, M. et al. Human-specific gene ARHGAP11B promotes basal progenitor amplification and neocortex expansion. **Science**, v. 347, n. 6229, p. 1465-1470, 2015.

GILBERT, S. L.; DOBYNS, W. B.; LAHN, B. T. Genetic links between brain development and brain evolution. **Nature Reviews Genetics**, v. 6, n. 7, p. 581-590, 2005.

HAILE-SELASSIE, Y. et al. New species from Ethiopia further expands Middle Pliocene hominin diversity. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 483-488, 2015.

HARCOURT-SMITH, W. E. H.; AIELLO, L. C. Fossils, feet and the evolution of human bipedal locomotion. **Journal of Anatomy**, v. 204, n. 5, p. 403-416, 2004.

HEINZELIN, J. et al. Environment and behavior of 2.5-million-year-old Bouri hominids. **Science**, v. 284, n. 5414, p. 625-629, 1999.

HEYES, C. New thinking: the evolution of human cognition. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 367, n. 1599, p. 2091-2096, 2012.

ISLER, K.; VAN SCHAİK, C. P. Allomaternal care, life history and brain size evolution in mammals. **Journal of human evolution**, v. 63, n. 1, p. 52-63, 2012.

JABLONSKI, N. G.; CHAPLIN, G. Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. Supplement 2, p. 8962-8968, 2010.

LEONARD, W. R.; SNODGRASS, J. J.; ROBERTSON, M. L. Evolutionary Perspectives on Fat Ingestion and Metabolism in Humans. In: MONTMAYEUR, J. P.; LE COUTRE, J. (editors). **Fat Detection: Taste, Texture, and Post Ingestive Effects.** Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis, 2010. p. 3-18.

MASLIN, M. A.; SHULTZ, S.; TRAUTH, M. H. A synthesis of the theories and concepts of early human evolution. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 370, n. 1663, p. 20140064, 2015.

RUSSELL, B. **Ensaios Céticos**. Porto Alegre: LPM, 2008. 240 p.

SAGAN, C. Wonder and Skepticism. **Skeptical Inquirer**, v. 19, n. 1, p. 24-30, 1995. Disponível em: <http://www.csicop.org/si/show/wonder_and_skepticism>. Acesso em: 13 nov. 2014.

SAGAN, C. **Cosmos**. New York: Random House. 1980.

SAGAN, C. **O mundo assombrado pelos demônios**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009. 239 p.

SCHÜLER, Fernando Luis; AXT, Gunter; DA SILVA, Juremir Machado. **Fronteiras do pensamento: retratos de um mundo complexo**. Ed. Unisinos, 2008.

SHERWOOD, C. C.; SUBIAUL, F.; ZAWIDZKI, T. W. A natural history of the human mind: tracing evolutionary changes in brain and cognition. **Journal of Anatomy**, v. 212, n. 4, p. 426-454, 2008.

STEDMAN, H. H. et al. Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. **Nature**, v. 428, n. 6981, p. 415-418, 2004.

VARKI, A. Multiple changes in sialic acid biology during human evolution. **Glycoconjugate journal**, v. 26, n. 3, p. 231-245, 2009.

WHITE, T. D. et al. *Ardipithecus ramidus* and the paleobiology of early hominids. **Science**, v. 326, n. 5949, p. 64-86, 2009

CAPÍTULO XV - EVOLUÇÃO HUMANA: DO JARDIM MIOCÊNICO À SELVA DE PEDRA

Demetrius Martins¹; Tony Leandro Rezende da Silveira²; Mariana Remião³; César Jaeger Drehmer⁴

Até o século XVIII as ciências biológicas não tinham vistas de responder dois dos principais questionamentos inerentes à existência da racionalidade humana: de onde viemos? E para onde vamos? A religião e a filosofia já vinham elaborando “respostas” havia muito tempo, mas nenhuma afirmativa que pudesse ser observada, predita ou comprovada. Alguns cientistas se empenharam em responder à primeira questão, referente ao período anterior ao nascimento. Obviamente já se sabia que os recém-nascidos eram expelidos do interior dos corpos de suas mães. Já se conhecia que o útero abrigava o feto. Esse órgão já vinha sendo incisado nas cirurgias cesarianas de gestantes vivas desde 1500 d.C. e de gestantes já mortas desde 700 a.C., aproximadamente. Porém, de que forma o feto havia iniciado seu desenvolvimento no interior do organismo materno era um verdadeiro mistério. Por alguns séculos se acreditou que o embrião se originava da mistura entre sêmen e secreções menstruais. E mesmo antes disso, se acreditou que mulheres não virgens eram invadidas por espíritos ancestrais que se instalavam em seus corpos e se transformavam em uma nova vida. Foi em 1775 que Lazzaro Spallanzani esclareceu a formação do embrião e comprovou a necessidade de ambos os gametas masculino e feminino para geração da vida (pelo menos nos vertebrados). A teoria gamética de Spallanzani não representou uma revolução tão importante porque Anton van Leeuwenhoek já havia observado espermatozoides por microscopia em 1677; Regnier de Graaf observara blastocistos (embriões em fase inicial de desenvolvimento) em úteros de coelhas em 1672 e antes disso muitas pessoas comuns já tinham conhecimento de diferentes fases de desenvolvimento de embriões humanos e de outros animais.

Cientificamente a questão sobre a origem dos indivíduos estava resolvida. Porém, a teoria gamética não respondia sobre o surgimento do ser humano e isso pouco importava para a maioria da população devido ao fato de que o clero detinha a razão sobre esse assunto e questioná-lo era considerado um crime contra Deus. Simplesmente a igreja explicava que Deus havia criado o homem à sua imagem e semelhança e a mulher a partir do homem, e isso bastava para encerrar o assunto. Todavia, para alguns cientistas não era o suficiente. Muitos deles já haviam começado o estudo sobre como os seres vivos se organizavam hierarquicamente, quais teriam “recebido maior atenção do criador”. Outros já haviam percebido que as espécies surgiam de outras espécies ao longo do tempo. Jean-Baptiste de Lamarck em 1809 foi o primeiro a defender isso explicitamente, em sua obra *Filosofia Zoológica*, na qual aplicou suas afirmações também para a espécie humana.

Quando Charles Darwin, em meados do século XIX, agrupou suas observações sobre a mudança das espécies às já existentes e afirmou que esse processo ocorria ao redor do mundo de forma independente através de seleção natural,

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense.

²Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande.

³Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

⁴Departamento de Ecologia Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas.

foi uma verdadeira revolução. Não só a transformação de espécies em outras, mas também a lei geral que regia tal transformação estavam, então, desveladas. Além disso, Darwin propôs que tal processo de mudança autodirigida poderia ser aplicado à espécie humana. Sua famosa publicação de 1859 fez toda a sociedade vitoriana se perguntar se aquela teoria poderia ser verdadeira. Estaria o clero errado? Deus não cria as espécies? As espécies que vivem hoje são diferentes das que habitaram o Éden? Existiu o Éden? Darwin tinha plena consciência da repercussão de seu livro, por isso protelou imensamente a publicação. Mas depois de sua divulgação, os cientistas da época e seus sucessores perceberam um novo campo do conhecimento e um novo paradigma surgirem, eles lançavam luz sobre como as espécies se originam, inclusive a espécie humana. A ideia do ser humano como mais um alvo passivo da seleção natural se confirma cada dia mais e hoje já se sabe muito sobre a história evolutiva do ser humano. Já sabemos de onde viemos!

DE ONDE VIEMOS?

Uma das perguntas que mais intriga o ser humano há milênios pode ser respondida com apenas uma palavra: África! Contrariando o que dizem as escrituras sagradas das três maiores religiões, o homem não surgiu no jardim do Éden. Segundo o Gênesis, do Éden sairia um rio que lançaria quatro vertentes, gerando quatro outros rios: os atuais Tigre e Eufrates e os perdidos Pison e Gion. A identificação de Pison e Gion costuma gerar controvérsias entre os historiadores. Alguns afirmam ser o Nilo (Gion) e o Ganges (Pison), porém tais rios são distantes dos outros dois e suas nascentes não coincidem. Outros afirmam serem os rios Zorók (Pison) e Arasse (Gion) na atual Armênia. Um ponto a favor dessa hipótese é que as nascentes do Tigre e do Eufrates ficam na Turquia, enquanto que as nascentes do Zorók e do Arasse ficam na Armênia, ambas regiões vizinhas. Outros ainda afirmam, mesmo as escrituras tendo sido escritas muito tempo depois⁵, que esses dois rios foram desfeitos em consequência do dilúvio de Noé. A propósito, após o dilúvio o ser humano teria recolonizado a Terra a partir de um ponto próximo ao Monte Ararate, local onde teria enalhado a lendária arca, que fica na fronteira entre as atuais Turquia e Armênia. O ponto é que, segundo as sagradas escrituras, o ser humano teria surgido (através de Adão) e ressurgido (através de Noé) em algum lugar no território entre a Turquia, Armênia e o Irã, ao Norte da antiga Mesopotâmia.

Porém, a história natural do ser humano revela fatos diferentes. Todos os fósseis identificados como pertencentes ao intervalo entre a separação da linhagem dos chimpanzés e o surgimento da espécie humana foram encontrados no continente africano. É irônico pensar que, ao invés de amaldiçoada por Deus, a África é o berço dourado da espécie que o inventou. Segundo indica o registro fóssil, a linhagem que originou *Homo sapiens* se separou da linhagem que originou os atuais chimpanzés (*Pan troglodytes*) e bonobos (*Pan paniscus*) há 5-6 milhões de anos na África. Perceba que não é dito que o homem surgiu do chimpanzé ou do bonobo e isso é importante. O homem surge historicamente a partir de uma espécie que se diferencia em outras duas: uma das linhagens sofre especiação sucessivas vezes até dar origem aos chimpanzés; a outra linhagem, por sua vez, sofre especiação sucessivas vezes até dar origem ao ser humano. Então é incorreto afirmar que o homem evoluiu do chimpanzé. O correto seria afirmar que o homem evoluiu a partir de um ancestral, já extinto, em comum com os chimpanzés.

⁵A autoria do antigo testamento cristão e da torá judaica, também conhecidos como pentateuco, é atribuída a Moisés. A maioria dos historiadores aceita que Moisés começou a guiar os hebreus em sua busca pela terra prometida, Canaã, no ano de 1550 a.C. No período em que esteve liderando os hebreus, Moisés teria escrito suas leis.

A espécie tida como a mais antiga da linhagem humana, é *Sahelanthropus tchadensis*. Indivíduos dessa espécie mediam aproximadamente 1,3 m e pesavam cerca de 30 kg, viveram há 6-7 milhões de anos onde se localiza hoje o Chade na África subsaariana. Atualmente essa é uma região semiárida, mas evidências fósseis indicam que o Chade possuía vastas e frondosas florestas tropicais durante o período Mioceno. A caixa craniana de *Sahelanthropus* tinha um volume entre 320–380 cm³, menor que o apresentado pelos chimpanzés atuais (que é de cerca de 390 cm³), essa característica indica que o extinto *Sahelanthropus* possuía um encéfalo menor que o dos chimpanzés de hoje em dia. Outras características primitivas são a face inclinada, não plana; crista supra orbital (região dos supercílios) pronunciada e crânio alongado. Há, porém, algumas características de *Sahelanthropus* que aproximam a espécie de nós, humanos. Por exemplo, os dentes caninos eram pequenos e não pontiagudos; pré-maxila curta e forame magno ventral, dando passagem à medula e direcionando-a para baixo e não para trás, como ocorre em animais quadrúpedes. Essa característica indica que *Sahelanthropus* possivelmente já possuía andar bípede parecido com o nosso. A descoberta de *S. tchadensis* em 2001 aqueceu mais uma vez as discussões sobre a idade do bipedalismo humano. O primeiro indício indiscutível de bipedalismo é do Plioceno, cerca de 4-5 milhões de anos depois da existência de *Sahelanthropus*. Porém, fósseis do esqueleto pós-craniano nunca foram encontradas, impossibilitando a análise das mãos e dos pés dessa espécie. Somente a posição do forame magno não é garantia de postura bípede. Mesmo a posição de *Sahelanthropus* na linhagem exclusivamente humana ainda é polêmica. Alguns estudiosos preferem inserir esse ancestral em um período anterior à separação da linhagem humana e dos chimpanzés, alegando que *S. tchadensis* pertence à linhagem dos gorilas.

Outra espécie atribuída às bases da árvore genealógica do homem é *Orrorin tugenensis*. Essa espécie habitou o local onde hoje é o Quênia há cerca de 6 milhões de anos. Possuía o tamanho próximo ao dos chimpanzés modernos e pesava algo entre 30 e 50 kg. Não se conhece o volume da caixa craniana de *Orrorin*, porque nenhum crânio fossilizado foi recuperado. A dentição encontrada apresenta uma espessa camada de esmalte, caninos pequenos e molares arredondados. Estudiosos afirmam que a dieta de *O. tugenensis* era composta de folhas, raízes, sementes, frutas, insetos e carne. Os restos de úmero (osso do braço) sugerem um hábito escalador arbóreo, porém sem braquiação⁶. Os pedaços de fêmur sugerem que a espécie era capaz de assumir a postura bípede quando no solo.

Ardipithecus kadabba viveu onde atualmente se localiza a Etiópia há 5,2-5,8 milhões de anos, e possuía dimensões similares às dos chimpanzés. Nenhum crânio foi encontrado até hoje, mas os cientistas afirmam que o volume do encéfalo seria equiparável ao dos chimpanzés. Entre os elementos do esqueleto pós-craniano que foram descobertos estão ossos dos pés, ossos dos braços e clavícula. O osso de um dos dedos do pé sugere, por sua aparência ampla e robusta, que essa espécie era capaz de caminhar sobre as duas pernas. Porém, alguns cientistas consideram essa conclusão um tanto quanto precipitada, visto que apenas um osso do dedo, que foi encontrado a 16 km de distância do sítio principal de descoberta, foi analisado. Os fósseis de *A. kadabba* foram descobertos em 1997 e a espécie foi classificada como uma subespécie de *Ardipithecus ramidus*, porém, em 2002 um novo conjunto de seis dentes foi descoberto e com base em sua morfologia *Ardipithecus ramidus kadabba* foi elevada à categoria de espécie em 2004. O descritor da espécie, Yohannes Haile-Selassie, afirma que é *A. kadabba*, e não *Sahelanthropus*, a primeira espécie da linhagem humana após a divergência da linhagem dos chimpanzés.

⁶Movimentação entre os galhos de árvores com o corpo pendurado apenas pelos membros torácicos.

Ardipithecus ramidus é a espécie mais bem conhecida da base da linhagem humana, com 110 espécimes e também viveu onde atualmente se localiza a Etiópia há 4,4 milhões de anos. Possuía cerca de 1,2 m, 50 kg e um encéfalo de volume semelhante ao dos chimpanzés modernos. Sua descoberta data do ano de 1994, quando a espécie foi classificada como *Australopithecus ramidus*, mas só em 2009 novas análises foram publicadas e com elas novas características dos pés e da pelve, que suportavam a hipótese de que a espécie possuía postura bípede associada ao hábito arbóreo, porém sem indícios de hábitos de braquição, escalada vertical e sustentação nas articulações dos dedos, como ocorre nos chimpanzés e gorilas modernos. O complexo caninos/pré-molares é pequeno como nos humanos e a camada de esmalte dos dentes é de espessura intermediária entre a de *Australopithecus* e *Pan*. Se a camada de esmalte fosse espessa seria indício de alimentação fibrosa, grosseira e abrasiva. Se a camada de esmalte fosse fina seria indício de alimentação macia (frugívora). A espessura intermediária nem muito fina, nem muito espessa indica uma alimentação de diversas fontes, sugerindo que a espécie seria onívora. Além disso, o padrão de desgaste dentário e o tamanho dos incisivos não suporta a hipótese de *A. ramidus* ser um frugívoro estrito. Ainda, alimentos muito grosseiros seriam evitados, visto que a espécie não apresenta indícios de mastigação potente típica de espécies de ambientes abertos, como a constatada em *Australopithecus*.

Todos esses quatro representantes das épocas iniciais da evolução da linhagem humana habitaram florestas, fato comprovado por suas anatomias e pelo registro fóssil da fauna e da flora da época. Pelo menos duas das espécies têm fortes indícios de bipedalismo facultativo contrariando a hipótese de que o mesmo teria surgido em decorrência da savanização⁷ da África. Como se pode notar, o início da linhagem exclusiva do homem é confuso. A posição filogenética de cada uma das quatro espécies é polêmica: ora uma das espécies é citada como a primeira da linhagem altiva dos humanos, ora a mesma espécie é “empurrada” para linhagens vizinhas, e lá cai de quatro patas ao chão, para dar lugar a um outro ancestral, agora o primeiro a erguer-se sobre as pernas. Isso pode estar relacionado mais ao ego dos descritores das espécies do que aos fatos biológicos. Alguns paleontólogos inclusive defendem a ideia de que os quatro gêneros primitivos podem mesmo ser um gênero único com quatro espécies. O futuro reserva novos fósseis para acender as discussões ou solidificar uma verdade passageira. Porém, uma das certezas mais absolutas que temos até agora é que sabemos de onde viemos: um jardim maravilhoso. Um jardim repleto de animais, de árvores e de frutas variadas, nenhuma proibida. Um jardim de águas fartas com bem mais de um rio. Um jardim miocênico chamado África.

UM PASSO À FRENTE

Os Australopithecíneos compõem o grupo de animais ancestrais diretos do gênero ao qual pertencemos: *Homo*. Isso equivale a dizer que dentre as espécies de *Australopithecus*, uma se ramificou e originou *Homo* ao longo de muitas gerações, um grupo de animais diferentes daqueles originais. A exemplo da incerteza que se tem sobre a espécie que primeiro se levantou sobre as pernas, a comunidade científica ainda discute qual foi a primeira espécie a caminhar longas distâncias na postura bípede. Há pelo menos duas possibilidades: ou foi *Australopithecus anamensis* ou foi *A. afarensis*. Contudo, os achados indicam a época certa: entre 3,9 e 4,2 milhões de anos. Isso porque ainda há dúvidas

⁷Processo de substituição da floresta tropical por uma vegetação característica de savana. Na África, esse processo ocorreu no período Mioceno.

sobre se essas duas espécies representam efetivamente dois táxons diferentes. Há quem defenda a ideia de que *A. anamensis* (que viveu entre 3,9 e 4,2 milhões de anos atrás) e *A. afarensis* (que viveu entre 3 – 3,9 milhões de anos atrás) são uma espécie só, como defendia o ilustre evolucionista alemão Ernst Mayr. A tíbia atribuída a *A. anamensis* (mas que pode ser de *A. afarensis*, segundo uma parte dos cientistas) é a principal evidência disso. É possível constatar, na porção distal, uma articulação do tornozelo que possibilitava a postura e movimentação sustentada por um dos pés de cada vez. Os fósseis dos ossos dos membros torácicos, muito mais longos que os dos humanos, indicam que a espécie possuía concomitantemente o hábito arbóreo e o bipedalismo. *Australopithecus anamensis* é mais antigo que *A. afarensis* e tem caixa craniana com volume de cerca de 430 cm³.

Australopithecus afarensis é uma das espécies de australopithecíneos mais conhecidas. Ao todo já foram descobertos fósseis de cerca de 300 indivíduos, entre eles está a famosa “Lucy”. Esse espécime fossilizado foi descoberto em 1974 na Etiópia. O fato de ser um esqueleto bastante preservado, uma raridade na paleontologia dos hominídeos, aliado ao apelido dado em homenagem ao sucesso dos Beatles da época, *Lucy in the Sky with Diamonds*, tornou esse fóssil reconhecido no mundo inteiro. Estima-se que *A. afarensis* tenha existido há 3 – 3,9 milhões de anos. Duas trilhas extensas de pegadas, proximamente paralelas, de um par de primatas bípedes (uma trilha de um adulto e a outra com pegadas menores de um indivíduo juvenil, muito possivelmente uma mãe acompanhada de seu filhote) foram descobertas em Laetoli, na Tanzânia, datada de 3,6 milhões de anos atrás e atribuída à *A. afarensis*. Essa é a primeira prova direta e irrefutável de um deslocamento bípede em ancestrais da espécie humana. Estariam caminhando de mãos dadas? Nunca saberemos! Além do bipedalismo, indivíduos da espécie apresentavam dentes caninos pequenos, como os indivíduos de *Homo*. Porém, algumas características ainda eram marcadamente primitivas: nariz plano; mandíbula projetada rostralmente; caixa craniana pequena, com volume não ultrapassando 500 cm³ (Lucy, individualmente, possuía 450 cm³), maior do que o de chimpanzés atuais, mas cerca de um terço do volume apresentado por *Homo sapiens* atualmente; membros torácicos muito longos, fortes e com dedos curvados, adaptação para o hábito arbóreo. Fêmeas e machos pesavam cerca de 29 kg e 42 kg, respectivamente, e eram predominantemente vegetarianos.

Ao compararmos suas anatomias constatamos que *A. africanus*, uma espécie que provavelmente coabitou a África na época da extinção de *A. afarensis*, possui dentição menor, crânio mais arredondado e com capacidade maior (podendo alcançar mais de 500 cm³) do que a apresentada por *A. afarensis*. O bipedalismo também pode ser comprovado através do estudo da pelve, do fêmur e de ossos dos pés. Porém, as características primitivas presentes em *A. afarensis* estão preservadas em *A. africanus*: face e mandíbula projetadas rostralmente e ombros e mãos indicativos de hábito arbóreo. As fêmeas pesavam 30 kg e os machos aproximadamente 40 kg. *Australopithecus africanus* viveu há 2,1 – 3,5 milhões de anos. Foi descoberto em 1924 na África do Sul; antes disso, nunca um ancestral da espécie humana havia sido encontrado no continente africano. Na verdade, foi justamente o descobrimento de *A. africanus* que atraiu a atenção dos pesquisadores para a África e os possibilitou comprovar mais tarde que aquele continente escondia os primórdios da humanidade.

Um sucessor de *A. africanus* foi *A. garhi*, que viveu 2,5 milhões de anos atrás. Mesmo esse não sendo tão bem documentado no registro fóssil dos ancestrais humanos, a análise dos resquícios de *A. garhi* nos permite concluir sobre seu modo de vida. Seu fêmur era mais longo do que os de seus antecessores, isso significa que essa espécie era dotada de uma marcha de largos passos. Além dessa adaptação, *A. garhi* tinha uma peculiaridade. Próximo ao sítio de descoberta dos fósseis dessa espécie foram encontrados os mais antigos indícios de uso de ferramentas de pedra.

Fragmentos de tíbia e de mandíbula de bovinos foram descobertos com marcas profundas e regulares em sua superfície, indicando impacto repetitivo por pedaços afiados de pedra. Os autores da descoberta defendem que as marcas na mandíbula possivelmente foram feitas no ato de retirada da língua da presa, já as marcas na tíbia seriam devido à tentativa de acesso à medula óssea (tutano) da presa, uma importante fonte de nutrientes. Essa descoberta aponta para dois aspectos importantes do passado de homínídeos: o primeiro indício de uso de ferramentas e de predação carnívora. Alguns paleontólogos acreditam que *A. garhi* foi a primeira espécie da linhagem humana a fabricar e utilizar ferramentas de pedra, mesmo possuindo uma caixa craniana pequena (cerca de 450 cm³, volume aproximado àquele observado em *A. afarensis* e *A. africanus*). Porém, mais uma polêmica surge do fato de que alguns cientistas defendem que foi *H. habilis* o primeiro homínídeo a explorar ferramentas.

Australopithecus sediba foi descoberto em 2008 na África do Sul pelo filho de 9 anos do paleontólogo Lee Berger. Estima-se que a espécie viveu há 1,98 milhões de anos, apresentando tanto características primitivas quanto derivadas. Seus membros torácicos eram longos e a capacidade craniana era baixa (entre 420 e 450 cm³), como o observado previamente em outras espécies de *Australopithecus*. Porém, algumas adaptações anatômicas eram mais derivadas. A forma da pelve ampla associada ao fêmur mais longo sugere capacidade de corrida bipedal parecida com a apresentada pelos humanos atualmente. Antes do descobrimento de *A. sediba*, a comunidade científica pensava que o alargamento da pelve era consequência de nascimentos de indivíduos com encéfalos maiores. No entanto, *A. sediba* mostra espécimes com pelve larga e caixa craniana pequena. A dentição era composta de molares e pré-molares relativamente pequenos e a forma dos ossos da face era mais próxima da apresentada por espécies de *Homo* do que a apresentada por outras espécies de *Australopithecus*. Com isso, cientistas consideram *A. sediba* uma espécie transitória entre os dois gêneros, *Australopithecus* e *Homo*, ou seja, *A. sediba* teria especiado e dado origem ao fim de muitas gerações a *H. habilis*. Além de *Homo*, *Australopithecus* também originou *Paranthropus*, um grupo próximo ao gênero *Homo* que viveu entre 1,2 e 2,7 milhões de anos atrás no leste e no sul da África. Com pelo menos três espécies reconhecidas, conhecido como ramo robusto da linhagem homínídea, as espécies de *Paranthropus* não estão envolvidas diretamente com a ancestralidade humana, tendo sido extintos sem deixar descendentes atuais.

Australopithecus foi o grupo de animais que explorou ao máximo a habilidade de andar e correr sobre o solo sem abandonar a manipulação com os membros torácicos. O bipedalismo possivelmente proporcionou a evolução da carnivoría e da caça, tendo como consequência direta o acesso a uma dieta hiperproteica, levando ao incremento no tamanho encefálico. Graças aos australopitecíneos, o grupo de animais do qual fazemos parte, o gênero *Homo*, teve origem e pôde emergir e continuar a trilha rumo à “dominação” do mundo.

Os primeiros homínídeos conhecidos, embora apresentassem características similares aos australopitecíneos, diferem principalmente devido ao volume da caixa craniana, sendo essa diferença fundamental para o sucesso evolutivo da nova linhagem, que passou a utilizar ferramentas, ampliando sua capacidade de exploração de diferentes recursos alimentares.

Homo habilis é reconhecida como uma das primeiras espécies do gênero *Homo*, tendo sido descoberta pela equipe dos pesquisadores Louis e Mary Leakey em Olduvai Gorge, Tanzânia, entre os anos de 1960 e 1963. Esta espécie recebeu esse nome, pois foi associada à confecção de inúmeras ferramentas de pedra também encontrados em Olduvai Gorge. Estima-se que indivíduos dessa espécie viveram entre 2,2 a 1,6 milhões de anos atrás. Embora mantivessem algumas características semelhantes aos australopitecíneos, como braços e antebraços longos, mandíbulas fortes e dentes

com esmalte ainda espesso, o que indica a manutenção de uma dieta rica em alimentos duros, *H. habilis* já apresentava uma dentição menor, além de uma evidente ampliação do volume craniano (600 cm³). Foi observado nos fósseis um evidente dimorfismo sexual, sendo os machos muito maiores do que as fêmeas. Não foram encontradas evidências de manipulação do fogo e, provavelmente, não apresentavam uma comunicação articulada.

A posição de *Homo rudolfensis* é ainda controversa, pois alguns especialistas consideram que se trata de uma variação de *H. habilis*. As duas espécies coexistiram há aproximadamente 2 milhões de anos, porém não existe certeza sobre qual delas é ancestral dos homínídeos mais recentes. Os fósseis de *H. rudolfensis* indicam que seus representantes apresentam um cérebro um pouco maior que o de *H. habilis*, com aproximadamente 750 cm³, além de possuírem uma mandíbula maior e mais direcionada para frente, dentes caninos mais largos e com coroas mais complexas e uma caixa craniana mais arredondada.

CORRIDA EVOLUTIVA: PREPARAR, APONTAR, FOGO!

A validade da espécie conhecida como *Homo ergaster* é bastante discutida entre os cientistas. Alguns afirmam que essa é apenas uma subespécie de *H. erectus*, outros defendem que são sinonímias, ou seja, que não há diferenças suficientes entre os exemplares atribuídos à cada espécie a ponto de haver distinção entre as duas. Desse segundo grupo de pesquisadores, alguns preferem denominar esse grupo de fósseis como *H. ergaster* e outros preferem a designação de *H. erectus*. Neste capítulo acompanharemos essa última corrente de pensamento.

Os primeiros fósseis que apresentam um tamanho corporal proporcionalmente mais parecido com o dos humanos modernos são os pertencentes a *Homo erectus*. Indivíduos da espécie apresentavam pernas alongadas e braços mais curtos em relação ao tronco, caixa craniana ampliada em relação ao tamanho da face e volume craniano entre 900-1200 cm³. Portanto, os indivíduos com maiores crânios apresentam um aumento de 50% de capacidade craniana em relação a *H. habilis*. *Homo erectus* é a primeira espécie de homínídeos a fazer viagens intercontinentais (podendo ser consideradas verdadeiras migrações), a partir da África se dispersaram pela Ásia e Europa. Associadas a essa espécie foram descobertas ferramentas fossilizadas e esqueletos de grandes mamíferos, sugerindo que esses homínídeos já apresentavam um modo de vida mais complexo que as espécies anteriores. Além de fabricar ferramentas de pedra, evidências demonstram que manipulavam a madeira. Seu maior avanço cultural foi aprender a manusear o fogo, sendo encontrados indícios dessa utilização na China há 300 mil anos, atribuídos ao “homem de Pequim”, que seria uma variedade de *H. erectus*.

O início da manipulação do fogo aconteceu entre 1 e 1,5 milhão de anos atrás e pode ter sido fator fundamental para a exploração de ambientes com clima mais frio como Europa e Ásia. No entanto, essa importante aquisição cultural parece não ter sido o fator inicial para o hábito de consumir carne por parte dos homínídeos. O processamento do alimento, combinado com o hábito de comer carne podem ter sido fundamentais para que os descendentes de *H. erectus* adquirissem um cérebro maior. Ou seja, o simples processamento de alimentos, como esmagar tubérculos e cortar a carne em pedaços menores, desempenhou um papel importante na evolução humana muito antes que o cozimento fosse inventado e se tornasse uma prática comum.

Homo neanderthalensis é considerada a espécie mais próxima do *H. sapiens*. Essa espécie viveu entre 400.000 a 40.000 anos atrás, sendo registrada para o continente europeu e sudoeste da Ásia central. Seus corpos apresentavam inúmeras adaptações ao ambiente de clima mais frio, tais como: uma maior dimensão do nariz, o que aumenta a efi-

ciência de umidificação e aquecimento do ar frio e seco que é inspirado; corpos de menor estatura, porém muito mais musculosos em comparação aos nossos; ossos longos dos membros mais grossos, em alguns indivíduos esses ossos são duas vezes mais espessos que os de humanos modernos; e ainda caixas torácicas mais largas do que as dos humanos atuais, indicando pulmões e capacidade respiratória maiores. Apresentavam cérebro tão grande quanto o nosso e muitas vezes até maior (podendo chegar a 1500 cm³). Eles também dominavam o manuseio do fogo; comiam vegetais variados; produziam vestimentas; possuíam rituais de sepultamento, indicando certo nível de espiritualidade; caçavam e as populações costeiras exploravam recursos marinhos como moluscos, mamíferos marinhos e peixes. Há evidências de que construíam ferramentas de madeira e pedra, aumentando a capacidade de exploração de novos recursos. Há cerca de 100 mil anos, *H. sapiens*, vindo do norte africano, alcançou o território ocupado por *H. neanderthalensis*. Esses indivíduos de *H. sapiens* foram originados de um grupo de *H. erectus* que não migraram e permaneceram no continente africano. Após milhares de anos de coabitação com nossa espécie no continente europeu e asiático, os homens de Neandertal foram extintos. Ainda não se sabe as razões que levaram ao desaparecimento dessa espécie. Pode ter sido consequência de alterações climáticas bruscas; dizimação da caça predada pela própria espécie; genocídio perpetrado por nossa espécie ou um somatório de todos esses fatores. Há evidências de que existiam conflitos armados mortais entre *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Porém, há fortes evidências também, especialmente moleculares, de que humanos e neandertais cruzaram e geraram descendentes férteis, o que derrubaria a tese de que seriam espécies separadas⁸. Europeus (caucasianos) seriam os que apresentam maior quantidade de DNA neandertal, reforçando a sua ampla e extensa ocupação do continente europeu.

Descobertas recentes, estas sem amparo de esqueletos fósseis, mas amparadas exclusivamente por evidências moleculares do DNA extraído da falange não fossilizada de uma criança de aproximadamente 7 anos de idade, indicam que outra linhagem de ancestrais humanos coabitou com *H. sapiens* e *H. neanderthalensis* a região onde hoje é a Sibéria, no norte da Rússia. A nova linhagem recebeu o nome de homem de Denisova, em referência à caverna em que a falange infantil utilizada para extração de DNA foi encontrada. Não há indícios suficientes para distinguir essa nova linhagem como uma nova espécie, porém os cientistas defendem que os homens de Denisova são fruto de uma nova onda de migração de *H. erectus* vindos da África entre 800 e 900 mil anos atrás. Se uma terceira espécie de *Homo* originada de *H. erectus* realmente existiu e foi extinta é outra dúvida que talvez o tempo solucione. O fato é que apenas os nossos ancestrais *H. sapiens* conseguiram sobreviver ao período paleolítico. Também existe evidência de miscigenação entre os homens de Denisova e *H. sapiens*, admitindo-se que Denisova seja mesmo uma espécie à parte!

Não existe consenso na comunidade científica sobre quantas espécies de hominídeos efetivamente existiram e como foi que os humanos modernos emergiram dentre os demais. Aqui utilizamos de argumentos embasados em morfologia e genética molecular de apenas algumas espécies das mais amplamente reconhecidas pela comunidade científica para demonstrar um padrão geral da evolução dos hominídeos. Contudo, muitas outras espécies foram descritas numa aparente disputa de egos entre paleoantropólogos.

⁸Adeptos dessa corrente consideram os homens de Neandertal e os humanos modernos como duas subespécies de *Homo sapiens*. Dessa forma, os homens de Neandertal recebem o nome específico de *Homo sapiens neanderthalensis* e os humanos modernos recebem o nome de *Homo sapiens sapiens*.

FINALMENTE, É AQUI QUE VOCÊ ENTRA

O moderno *H. sapiens*, apresenta caixa craniana grande, testa alta e vertical, face relativamente curta, aplanada, vertical e com nariz proeminente. A mandíbula é menos pronunciada para frente e os dentes são menores quando comparados aos das espécies ancestrais. O registro fóssil mais antigo de *H. sapiens* datava de aproximadamente 160 mil e 195 mil anos atrás e foi localizado em Herto e Kibish, na Etiópia. Contudo, durante a editoração deste livro, novas descobertas em Jebel Irhoud, no Marrocos, fizeram com que os autores estimassem a idade dos fósseis de crânios em 300 mil anos. Além disso, junto aos fósseis foram encontrados artefatos de pedra utilizados como ferramentas. Estes instrumentos eram muito similares aos já encontrados na África, o que sugere que as inovações tecnológicas da metade da Idade da Pedra estão ligadas ao surgimento de *H. sapiens*.

A forma como se deu a transição entre *H. erectus* e *H. sapiens* continua sendo muito discutida entre os especialistas. De um lado há os que defendem a hipótese da origem única (“*out of Africa*” ou saída recente da África ou, ainda, a teoria da Eva mitocondrial), a qual estabelece que todas as populações humanas atuais descendem de um grupo ancestral de *H. sapiens* africanos que emigrou da África em um evento único, resultando, ao fim de milhares de anos de processos evolutivos, na espécie humana e todas as suas variações. A outra corrente defende o modelo multirregional (saída tardia da África, ou teoria do candelabro), o qual estabelece que as populações africanas de *H. erectus* emigraram da África, ocupando a Eurásia, e se diferenciaram entre si ao longo das gerações, mas sempre com interação gênica interpopulacional (o que teria amenizado as pressões que favoreciam a especiação de cada grupo regional, uniformizando o processo), resultando, independentemente, em *H. sapiens* e suas diferentes etnias que reconhecemos ao redor do globo (essa hipótese tem sido desacreditada cada vez mais nos anos recentes!). Há ainda os que defendem que ambas aconteceram sequencialmente, primeiro ocorrendo uma saída tardia da África e depois uma saída recente da África. Em 2002 uma teoria emergente, reacendeu a questão fundamentando seus dados em análises moleculares de treze grandes agrupamentos de DNA humano. Segundo o autor, Alan Templeton, não teriam sido nem uma nem duas, mas sim três saídas da África: a primeira saída (defendida pelos teóricos do modelo multirregional) teria sido realizada por *H. erectus* entre 1,7 e 1,9 milhão de anos atrás; a saída mais recente (defendida pelos teóricos da origem única) teria sido realizada por *H. sapiens* há aproximadamente 100 mil anos; e uma saída intermediária (proposta por Templeton) teria sido feita por *H. erectus* entre 420 e 840 mil anos atrás.

Analisando-se as características anatômicas dos exemplares fossilizados pertencentes à linhagem humana desde *Sahelanthropus tchadensis* até *Homo sapiens*, é possível notar uma incrível tendência de encurtamento do rosto (focinho) e verticalização da face, processo que atinge o ápice na nossa espécie. Ou seja, todas as nossas espécies ancestrais (ao menos todas as tratadas neste texto) possuíam os ossos da região rostral projetadas para frente e as órbitas mais recuadas em relação ao rosto, parecido com o que ocorre com os chimpanzés adultos. Nossa espécie, no entanto, apresenta rosto extremamente curto, alinhado quase verticalmente à região dos supercílios, parecido com o que ocorre com filhotes de chimpanzés. Esse processo de retenção de características juvenis por indivíduos da fase adulta chama-se pedomorfose.

A pedomorfose pode ocorrer através de dois mecanismos principais: o desenvolvimento acelerado da maturidade sexual, chamado progênese, e o desenvolvimento retardado do crescimento somático, chamado neotenia. É consenso entre os especialistas que nossa espécie surgiu através da neotenia, isso ajuda a explicar o motivo pelo qual

apresentamos crânio globoso; ossos cranianos finos; região supraciliar reduzida; encéfalo grande; face plana; olhos grandes; nariz pequeno; dentes pequenos; maxila e mandíbula pequenas; corpo glabro; pênis sem báculo (o osso peniano); vagina com hímen; membros curtos em relação ao tronco e braços mais curtos do que as pernas, por exemplo. Além de características juvenis em corpos adultos, a neotenia é responsável pelo prolongamento da infância em nossa espécie, fato que nos permitiu prolongar o período de aprendizado, brincadeiras, testes e curiosidade em relação a tudo no ambiente que nos cerca. Somos neotênicos e, conseqüentemente, pedomórficos, talvez aí resida nosso sucesso em fazer experimentação e ciência.

Outra característica típica que distingue o ser humano dos outros animais existentes hoje é a capacidade de comunicação através da emissão constante de sons articulados complexos. Todos os animais são capazes de se comunicar, alguns de maneira visual, outros por sons, gestos, contato e emissão de substâncias químicas, mas apenas o homem é capaz de falar. A fala é favorecida anatomicamente em nossa espécie pela posição rebaixada da laringe em relação ao pescoço. Nos chimpanzés, uma das espécies não extintas mais próximas dos seres humanos, a posição da laringe é bem mais elevada. Essa disposição da laringe nos chimpanzés impossibilita a emissão de sons complexos, porém protege a traqueia, evitando que alimentos penetrem nas vias aéreas inferiores. O inverso também é verdadeiro, nós, humanos, podemos falar graças à anatomia da laringe, porém somos muito propensos a engasgamentos e sufocamentos a todo instante.

Os primeiros registros fósseis que indicam a presença da laringe rebaixada datam de cerca de 300 mil anos atrás. De fato, a anatomia favorável ao desenvolvimento da fala nos grandes primatas hoje em dia é exclusividade de *H. sapiens*, mas nem sempre foi assim. Acredita-se que esse traço anatômico tenha se originado no ancestral comum de *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Os próprios homens de neandertal possuíam a disposição da laringe parecida com a dos homens modernos, podendo utilizarem-se de comunicação verbal, porém não como a nossa linguagem. Os especialistas sugerem que a linguagem dos homens de neandertal possivelmente se enquadrava entre a comunicação sonora animal e a linguagem humana.

Mesmo o aparato anatômico sendo mais antigo, estima-se que a complexa linguagem humana tenha surgido há cerca de 40 mil anos, coincidindo com o súbito aumento do volume encefálico. Ainda há discordância sobre esse ponto: cientistas discutem se o aumento do cérebro é causa ou consequência do surgimento da linguagem complexa. O fato é que nessa época houve grandes alterações na biologia de nossa espécie. Até então as alterações evolutivas entre nossas espécies ancestrais se mostraram lentas e graduais, mas durante o Pleistoceno superior nossa evolução deu um salto. Esse é comumente citado como exemplo de situação que seguiu o equilíbrio pontuado. Tal postulado defende que de tempos em tempos, após um longo período de estabilidade, as populações sofrem um repentino evento de especiação.

As primeiras representações gráficas em cavernas também datam dessa mesma época. As pinturas rupestres retratam situações do cotidiano dos primeiros homens da história. São os primeiros registros de cultura verdadeiramente humana. A cultura já vinha sendo transmitida em épocas anteriores, visto que a arte de confecção de ferramentas, manuseio do fogo e prática de sepultamentos não se perderam com o tempo. Porém, a transmissão não oral de conhecimento foi um avanço imenso, foram os primeiros passos do que culminaria, depois de alguns milhares de anos, com o desenvolvimento da escrita, uma das maiores realizações da história humana.

Alguns milhares de anos depois, há cerca de 10 mil anos, o ser humano domesticou as primeiras espécies vegetais, aprendendo a cultivar a terra, e as primeiras espécies animais, arrebanhando-as sob seus territórios ou utilizando-as como armas de caça ou sentinelas de proteção (como comprovadamente ocorreu com os cães, há mais de 30.000 anos).

Com isso, o homem garantiu um estoque de alimentos, se fixou em pequenas comunidades agropecuárias e abandonou o sistema nômade de coleta e caça. Nesse ponto de sua história, a humanidade já alterava consideravelmente o ambiente à sua volta, o que continuou fazendo incessantemente. Avançando alguns milhares de anos no tempo, as pequenas colônias agropecuárias se transformaram em grandes civilizações dotadas de comércio, construções de pedra, culto a deuses, língua própria, escrita, navegação e transporte. O mundo nunca mais foi o mesmo.

PARA ONDE VAMOS?

Você deve ter notado vários pontos incertos e com discordâncias em nossa história evolutiva. Na verdade, nossa história ainda está longe de uma resolução definitiva. Exemplo disso é que no momento em que escrevamos este capítulo duas notícias monopolizaram os meios de comunicação científicos e não científicos, além daquela que aumentou em 100 mil anos a idade dos *H. sapiens* mais antigos.

A primeira delas dava conta da revelação de uma nova espécie de homínido da África do Sul, denominado *Homo naledi* que, de acordo com os pesquisadores que descobriram seus restos fósseis, já demonstrava algum comportamento ritualístico de espécie, visto que vários fósseis de indivíduos de várias idades foram encontrados no fundo de uma caverna estreita e escura chamada *rising star* (estrela ascendente, numa tradução livre do inglês). Pesquisadores afirmam que a caverna era impossível de ser habitada há 2,5 milhões de anos, época em que a espécie viveu, e que já era escura demais para que seus 800 m de extensão providos de estreitas galerias horizontais e verticais fossem percorridos diariamente. De fato, a caverna é tão inacessível que apenas pesquisadoras magras e de baixa estatura foram capazes de se esgueirar pelos estreitos túneis. Além disso, restos de mais nenhum animal foram encontrados na câmara, com exceção de uma solitária coruja. Com isso, os descritores da nova espécie concluíram que o local seria uma sepultura coletiva, uma espécie de cemitério primitivo. Iriam esses novos velhos homínidos sozinhos para *rising star* para morrer, como fazem os elefantes-africanos e tantos outros mamíferos de grande porte atualmente? Supostamente não, pois indivíduos jovens também foram encontrados. Os pesquisadores afirmam que os corpos foram depositados na câmara por outros indivíduos do grupo. Mas se esse é o caso, como esses animais se guiavam na escuridão total da caverna. Seriam eles capazes de dominar o fogo a ponto de usarem tochas para iluminar o caminho? Estaria essa sepultura coletiva relacionada à rituais espirituais? Mais dúvidas! A segunda notícia relatava a descoberta de evidências de córregos sazonais de água salobra no planeta Marte. Você deve estar se perguntando “qual a relação entre essas notícias?” Aparentemente nenhuma, mas essas descobertas estão diretamente relacionadas aos questionamentos feitos no início deste capítulo: De onde viemos? E para onde vamos?

Essas descobertas carregam uma série de simbolismos. A segunda, por estar relacionada com nossa necessidade extrema de procurar vida em outros planetas, ou mais ainda, com nossa essência exploradora e consumidora que, vislumbrando o esgotamento dos recursos do nosso ambiente (fruto do nosso modo de vida “devastador”), já busca novas alternativas de ambientes colonizáveis. Porém, estaríamos, nós, aptos a colonizar outro planeta? Nossa história como exploradores dos recursos do planeta não tem sido tão exitosa quanto nossa capacidade de colonizá-lo. Afinal, estaríamos nós preparados para encontrar vida fora da Terra?

Não temos como saber isso, uma vez que a primeira notícia está relacionada exatamente com nossa pouca capacidade de aceitar nossa condição como mais uma espécie no meio de tantas. A notícia de uma espécie primitiva

com capacidade de fazer algo tão humano quanto sepultar seus mortos, sempre gera inquietude e surpresa, como se os hábitos mais complexos e vistos como mais nobres devessem ser única e exclusivamente reservados a *H. sapiens*.

Portanto, para saber para onde vamos precisamos essencialmente entender nossa condição humana, reconhecer nossa posição taxonômica como animais primatas e nossa inserção no ambiente natural como apenas mais uma espécie com alguns atributos especiais, assim como tantas outras. Um fato é certo, mais cedo ou mais tarde nossa espécie será extinta assim como ocorreu com a grande maioria das espécies que já existiram. Assim como a morte e a escuridão são a sina de todas as estrelas, a extinção é a sina das espécies. Cabe a nós, enquanto espécie racional com o maior potencial cognitivo que já habitou o planeta Terra, sabermos atrasar ao máximo nosso fatídico destino, construindo uma história de progresso como fizeram nossos ancestrais e não uma história de devastação, como nos viciamos a fazer nos últimos séculos.

BIBLIOGRAFIA

BEDNARIK, R. G. **The Human Condition**. New York: Springer Science+Business Media, 2011. 207 p.

BERGER, L. R. et al. *Australopithecus sediba*: A new species of *Homo*-like Australopith from South Africa. **Science**, v. 328, p. 195-204, 2010.

DELSON, E.; ELDREDGE, N.; TATTERSALL, I. Reconstruction of hominid phylogeny: a testable frame work based on cladistic analysis. **Journal of Human Evolution**, v. 6, p. 263–278, 1977.

FALK, D. Comparative anatomy of the larynx in man and the chimpanzee: implications for language in Neanderthal. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 43, p. 123–132, 1975.

FROEHLE, A. W.; CHURCHILL, S. E. Energetic competition between neandertals and anatomically modern humans. **PaleoAnthropology**, v. 2009, p. 96–116, 2009.

GIBBONS, A. A new kind of ancestor: *Ardipithecus* Unveiled. **Science**, v. 326, p. 36–40, 2009.

HAILE-SELASSIE, Y.; SUWA, G.; WHITE, T. D. Late Miocene teeth from middle Awash, Ethiopia, and early hominid dental evolution. **Science**, v. 303, p. 1503–1506, 2004.

HEINZELIN, J. DE et al. Environment and behavior of 2.5-million-year-old Bouri Hominids. **Science**, v. 284, p. 625–629, 1999.

HUBLIN, J. J. et al. New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of *Homo sapiens*. **Nature**, v. 546, p. 289–292, 2017.

JOHANSON, D. C.; WHITE, T. D.; COPPENS, Y. A new species of the genus *Australopithecus* (Primates: Hominidae) from the Pliocene of Eastern Africa. **Kirtlandia**, v. 28, p. 2-14, 1978.

KORTLANDT, A. new perspectives on ape and human evolution. **Current Anthropology**, v. 15, n. 4, p. 427–448, 1974.

KRAUSE, J. et al. The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia. **Nature**, v. 464, p. 894-897, 2010.

LEAKEY, L. S. B., TOBIAS, P. V., NAPIER, J. R. A new species of the genus *Homo* from Olduvai Gorge. **Nature**, v. 202, p. 7-9, 1964.

LOVEJOY, C. O. Reexamining human origins in light of *Ardipithecus ramidus*. **Science**, v. 326, p. 74–74e8, 2009.

MONTAGU, A. **Growing young**. Portsmouth: Greenwood Publishing Group, 1989. 292 p.

PICKFORD, M.; SENUT, B. 'Millennium Ancestor', a 6-million-year-old bipedal hominid from Kenya - Recent discoveries push back human origins by 1.5 million years. **South African Journal of Science**, v. 97, p. 22-22, 2001.

PICKFORD, M.; SENUT, B.; GOMMERY, D.; TRIEL, J. Bipedalism in *Orrorin tugenensis* revealed by its femora. **Comptes Rendus Palevol**, v. 1, p. 191-203, 2002.

REZENDE, J. M. DE. A primeira operação cesariana em parturiente viva. In: **À sombra do plátano: crônicas de história da medicina**. São Paulo: Editora Unifesp, 2009. p. 171–172.

SCHMID, P. Functional interpretation of the Laetoli footprints. In: Meldrum, D. J.; Hilton, C. E. (Eds.). **From biped to strider: The emergence of modern human walking, running, and resource transport**. New York: Kluwer Academic/Plenum, 2004. p. 50-52.

SENUT, B. et al. First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya). **Comptes Rendus de l'Académie de Sciences**, v. 332, p. 137–144, 2001.

WHITE, T. D. et al. *Ardipithecus ramidus* and the paleobiology of early hominids. **Science**, v. 326, p. 64–86, 2009.

WHITE, T. D.; SUWA, G.; ASFAW, B. *Australopithecus ramidus*, a new species of hominid from Aramis, Ethiopia. **Nature**, v. 371, p. 306–312, 1994.

WOOD, B. Hominid revelations from Chad. **Nature**, v. 418, p. 133–135, 2002.

ZINK, K. D.; LIEBERMAN, D. E. Impact of meat and Lower Palaeolithic food processing techniques on chewing in humans. **Nature**, v.531, p. 500-503, 2016.

