

EVA JABLONKA E MARION J. LAMB

# Evolução em quatro dimensões

*DNA, comportamento e a história da vida*

*Ilustrações*

Anna Zeligowski

*Tradução*

Claudio Angelo



Copyright © 2005 by Massachusetts Institute of Technology

*Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.*

*Título original*

Evolution in four dimensions — Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life

*Capa*

Mariana Newlands

*Foto de capa*

<completar>

*Preparação*

Claudio Carina

*Índice remissivo*

Luciano Marchiori

*Revisão*

Valquíria Della Pozza

Huendel Viana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

---

Jablonka, Eva

Evolução em quatro dimensões : DNA, comportamento e a história da vida / Eva Jablonka e Marion J. Lamb ; ilustrações Anna Zeligowski ; tradução Claudio Angelo. — São Paulo : Companhia das Letras, 2010.

Título original: Evolution in four dimensions : genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life.

Bibliografia.

ISBN 978-85-359-1590-7

I. Evolução (Biologia) I. Lamb, Marion J.. II. Zeligowski, Anna.  
III. Título.

---

09-12235

CDD-576.8

---

Índice para catálogo sistemático:

1. Biologia evolutiva 576.8  
2. Evolução : Biologia 576.8

[2010]

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA SCHWARCZ LTDA.

Rua Bandeira Paulista, 702, cj. 32

04532-002 — São Paulo — SP

Telefone (11) 3707-3500

Fax (11) 3707-3501

www.companhiadasletras.com.br

# Sumário

Agradecimentos, 9

Prólogo, 13

## I. A PRIMEIRA DIMENSÃO

1. As transformações do darwinismo, 23

2. Dos genes aos caracteres, 66

3. Variação genética: cega, dirigida ou interpretativa?, 103

## II. TRÊS OUTRAS DIMENSÕES

4. Os sistemas de herança epigenéticos, 141

5. Os sistemas de herança comportamentais, 190

6. O sistema de herança simbólico, 232

Entreatos: um resumo provisório, 277

## III. RECOMPONDO HUMPTY DUMPTY

7. Dimensões complementares — os genes e os sistemas epigenéticos, 293

8. Genes e comportamento, genes e linguagem, 337
9. O lamarckismo evolui: a evolução do palpite fundamentado, 375
10. Um último diálogo, 415

Notas, 449

Bibliografia, 477

Índice remissivo, 501

## I. A PRIMEIRA DIMENSÃO

A primeira dimensão da hereditariedade e da evolução é a dimensão genética. É o sistema fundamental de transferência de informação no mundo biológico, essencial para a evolução da vida na Terra. O sistema genético vem sendo estudado há um século, e esses estudos já renderam ricos dividendos. Eles não apenas nos ajudaram a entender o mundo natural como também tiveram efeitos práticos significativos na medicina e na agricultura.

Em meados do século xx, ficou claro que a base molecular da genética seria achada no DNA e na sua replicação, e a partir de meados dos anos 1970, quando começou a era da engenharia genética, o conhecimento sobre essa disciplina passou a se expandir a uma velocidade sem precedentes. Com novas tecnologias inventadas quase diariamente, por volta dos anos 1990 ficou claro que a sequência completa do DNA do genoma humano seria conhecida logo. Os biólogos moleculares falavam com uma certeza profética sobre o “livro da vida” que logo estariam lendo; sobre a recém-descoberta “pedra filosofal”; sobre o Santo Graal que estavam descobrindo. Todas essas metáforas se referiam ao sequenciamento do genoma humano. Assim que o genoma fosse sequenciado, acreditava-se que os geneticistas poderiam usar seus dados para descobrir as fraquezas e as forças hereditárias de um indivíduo e, quando fosse o caso, intervir em seu favor. Nunca antes o conhecimento biológico parecera tão po-

deroso e tão cheio de promessas. No final de 2001, o clímax foi enfim atingido — com a publicação de um esboço da sequência do genoma humano. Cerca de 35 mil genes humanos (esse número seria revisado mais tarde), distribuídos de forma irregular pelos 23 pares de cromossomos, haviam sido identificados e sequenciados, e sua localização se tornou conhecida. Os jornais estavam repletos de empolgadas profecias sobre um mundo novo, ainda mais admirável e mais saudável.

Mas os próprios geneticistas, agora de posse do esboço do cobiçado “livro da vida”, responderam de forma curiosa e quase esquizofrênica. Por um lado, o entusiasmo e a sensação de realização são tão arrebatadores que as profecias sobre a terra prometida recém-encontrada tornam-se ainda mais ousadas. Por outro lado, surge um novo sentimento de humildade. E, ironicamente, esse sentimento é causado pelas próprias realizações da biologia molecular. As novas descobertas mostram quão complicadas são as coisas. Assim como em séculos anteriores, quando o telescópio abriu novos horizontes para os astrônomos e o microscópio revelou novos mundos para os biólogos, as revelações da biologia molecular não podem ser encaixadas com facilidade no arcabouço mental existente. Elas não tornam a velha genética mais completa; em vez disso, realçam as simplificações feitas até então e revelam vastas áreas de complexidade que não haviam sido antecipadas. Os genes e a genética não podem mais ser vistos da mesma maneira que no passado.

Uma das coisas que os estudos moleculares reforçaram é algo que já havia sido aceito pelos geneticistas modernos: não é válida a noção popular do gene como um simples agente causal. A ideia de que existe um gene para o espírito de aventura, as doenças cardíacas, a obesidade, a religiosidade, a homossexualidade, a timidez, a estupidez ou qualquer outro aspecto da mente ou do corpo não tem lugar no palanque do discurso genético. Embora muitos psiquiatras, bioquímicos e outros cientistas *que não são geneticistas* (mas que falam de assuntos genéticos com notável facilidade) ainda usem a linguagem dos genes como simples agentes causais, e prometam à sua audiência soluções rápidas para todo tipo de problema, eles não passam de propagandistas de cujo conhecimento ou razões devemos desconfiar. Os próprios geneticistas agora pensam e falam (na maior parte do tempo) em termos de redes genéticas compostas de dezenas ou centenas de genes e produtos de genes que interagem uns com os outros e, juntos, afetam o desenvolvimento de um determinado traço. Eles

reconhecem que o desenvolvimento ou não de uma característica (uma preferência sexual, por exemplo) não depende, na maioria dos casos, de uma diferença num único gene. Isso envolve interações entre vários genes, muitas proteínas e outros tipos de molécula e o ambiente em que um indivíduo se desenvolve. Até onde podemos ver, num futuro próximo ainda não será possível prever qual conjunto de genes interage entre si para produzir um dado conjunto de circunstâncias. Mas, apesar dessa consciência, a sensação de poder gerada pelo sucesso do projeto genoma tem frequentemente ofuscado a cautela, às vezes criando grandes esperanças e grandes medos irrealistas.

As reações contagiosas dos empolgados cientistas e empresários são fascinantes e importantes, pois vão influenciar o modo como o tempo e o dinheiro serão investidos no futuro. Mas nós vamos nos concentrar nas consequências mais diretas das descobertas moleculares feitas nas duas últimas décadas do século xx, que não apenas levaram as pessoas a pensar mais no que os genes fazem como também desafiaram antigas ideias sobre o que os genes são. Não podemos mais pensar no gene como um segmento de DNA intrinsecamente estável e discreto que codifica a informação necessária para produzir uma proteína e é fielmente copiado antes de ser passado adiante. Hoje sabemos que é necessária toda uma bateria de mecanismos sofisticados para manter a estrutura do DNA e a fidelidade de sua replicação. A estabilidade está no sistema como um todo, não no gene. Além disso, o gene não pode ser visto como uma unidade autônoma — como um trecho específico de DNA que produz sempre o mesmo resultado. Se um segmento de DNA produz ou não alguma coisa, o que produz, quando e onde o faz é algo que pode depender de outras sequências de DNA e do ambiente. O segmento de DNA que compõe “um gene” só tem significado no contexto do sistema como um todo. E, como o efeito de um gene depende desse contexto, nem sempre uma mudança em apenas um gene tem um efeito consistente no traço que ele influencia. Em alguns indivíduos e em algumas condições essa mudança tem um efeito benéfico, em outros indivíduos e em outras circunstâncias esse efeito pode ser nocivo, e às vezes não há efeito nenhum.

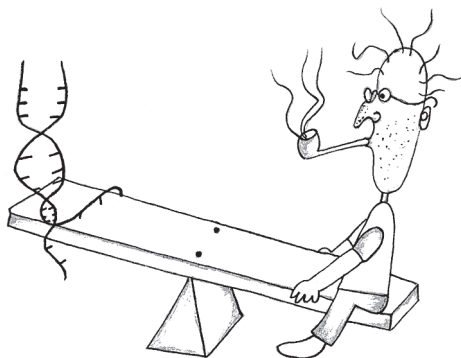
A ideia do genoma como sistema dinâmico e complexo não é controversa entre os biólogos profissionais, mesmo que algumas vezes isso tenda a ser esquecido quando a nova genética é apresentada ao público. Essas novas ideias sobre os genes e o genoma tiveram pouco impacto no pensamento evolutivo. Porém, se um gene tem significado apenas no contexto do sistema complexo do qual ele



é parte, a maneira tradicional de pensar a evolução, em termos de mudanças na frequência de um ou mais genes isolados, precisa ser questionada. Pode ser mais apropriado, por exemplo, concentrar-se em mudanças na frequência de redes ou interações alternativas em vez de na frequência de genes individuais.

Os novos conhecimentos sobre os genes e os genomas questionam as suposições da teoria evolutiva atual de outra maneira. Se o genoma é um sistema organizado, em vez de ser uma mera coleção de genes, o processo que gera a variação genética pode ser uma propriedade que evoluiu a partir do sistema, que é controlado e modulado pelo genoma e pela célula. Isso significaria que, ao contrário da opinião majoritária há muito aceita, nem toda a variação genética é aleatória ou cega; parte dela pode ser regulada e parcialmente dirigida. Em termos mais explícitos, isso pode significar que existem mecanismos lamarckistas que permitem a “herança branda” — a herança de mudanças genômicas induzidas por fatores ambientais. Até recentemente, a certeza de que variações adquiridas podiam ser herdadas era considerada uma heresia grave, que não deveria ter lugar na teoria evolutiva.

Ao revelar a natureza dinâmica do genoma e a complexidade das interações entre os genes, a biologia molecular está nos forçando a repensar a dimensão genética da teoria evolutiva. Na parte I vamos examinar essa dimensão ao descrever (capítulo 1) as origens da visão convencional, que se baseia na percepção do gene como a unidade da hereditariedade, da variação hereditária e da evolução. Depois passaremos a discutir (capítulo 2) as complexas relações entre os genes e os processos de desenvolvimento, e finalmente (capítulo 3) vamos analisar as maneiras pelas quais a variação genética é gerada e o que isso pode significar para a nossa visão da evolução e da hereditariedade.



# 1. As transformações do darwinismo

Nenhuma esfera do conhecimento está livre de controvérsia, e a ciência não é exceção. Se alguém imagina que os cientistas são pessoas desapaixoadas e imparciais discutindo teorias e ideias à luz fria e cristalina da razão, essa imagem é muito enganosa. A paixão e o fervor acompanham todas as boas discussões científicas. Isso fica ainda mais evidente quando a discussão se dá em torno de algo como a teoria da evolução, que diz respeito à história humana e aos nossos relacionamentos uns com os outros e com o mundo a nossa volta. Uma vez que tais discussões são amarradas com ideias sobre a “natureza humana”, e esbarram em julgamentos morais e questões éticas, elas podem ser muito emotivas, além de intelectualmente empolgantes.

Não estamos falando aqui de discussões entre pessoas que aceitam as ideias evolutivas e pessoas que preferem acreditar que o mundo foi criado por Deus em seis dias, reais ou metafóricos. Essas discussões suscitam interesses políticos e sociológicos consideráveis, mas na verdade não são parte da ciência, e por isso não precisamos dizer mais nada sobre elas. O que estamos falando é sobre as discussões acaloradas que ocorreram e vêm ocorrendo entre os próprios biólogos evolutivos.

Ao lermos relatos populares sobre novas descobertas da biologia, muitas vezes encontramos frases como “de acordo com a teoria da evolução de Dar-

win...”, ou “os biólogos evolutivos explicam isso como...”, ou “a explicação evolutiva é...”. A impressão que se tem é a de que existe uma teoria da evolução arrumadinha e bem estabelecida — a teoria da seleção natural de Darwin — que todos os biólogos aceitam e usam da mesma maneira. A realidade, claro, é muito distinta. Desde que o livro *A origem das espécies*, de Darwin, foi publicado, em 1859, os cientistas têm debatido se sua teoria da evolução funciona, e como funciona. A competição entre indivíduos com diferenças hereditárias na capacidade de sobreviver e de se reproduzir pode levar a novas características? A seleção natural é a explicação para toda e qualquer mudança evolutiva? De onde vem a variação hereditária de que a teoria de Darwin depende? Novas espécies podem realmente ser produzidas por seleção natural?

O livro de Darwin estava repleto de observações que apoiavam sua teoria, mas havia algumas lacunas gritantes nas evidências apresentadas. A maior delas era que ele não conseguia dizer muita coisa sobre a natureza e as causas da variação hereditária. Desde o início, mesmo os que aceitavam a teoria evolutiva de Darwin questionaram sua completude e sua suficiência e lutaram para tentar encontrar respostas para as questões levantadas a respeito da hereditariedade e da variação. Os debates continuaram nas décadas seguintes, à medida que eram realizadas novas descobertas e desenvolvidas novas abordagens teóricas. Ideias então em voga eram questionadas e revisadas, e o resultado foi a ocorrência de mudanças profundas na forma de entender os conceitos de evolução e da hereditariedade.

Hoje, a maioria dos biólogos vê a hereditariedade em termos de genes e sequências de DNA, e estuda a evolução principalmente em termos da mudança na frequência de genes alternativos. Nós duvidamos que essa situação persista daqui a vinte anos. Cada vez mais biólogos vêm insistindo em que o conceito de hereditariedade usado hoje no pensamento evolutivo é limitado demais, que deve ser ampliado de modo a incorporar os resultados e as ideias que estão vindo da biologia molecular e das ciências do comportamento. Nós compartilhamos essa visão, e nos próximos capítulos explicaremos por quê. Mas, antes de fazer isso, queremos delinear a história do pensamento evolutivo nos últimos 150 anos para ver como surgiu a versão atual da teoria darwinista, centrada no gene, e o que isso significa hoje para os biólogos evolutivos. Uma vez que não podemos nem tentar descrever todas as voltas na trilha de ideias que levou à posição atual, vamos focar somente os maiores pontos de virada e os argumentos que influenciaram a direção que se tomou.