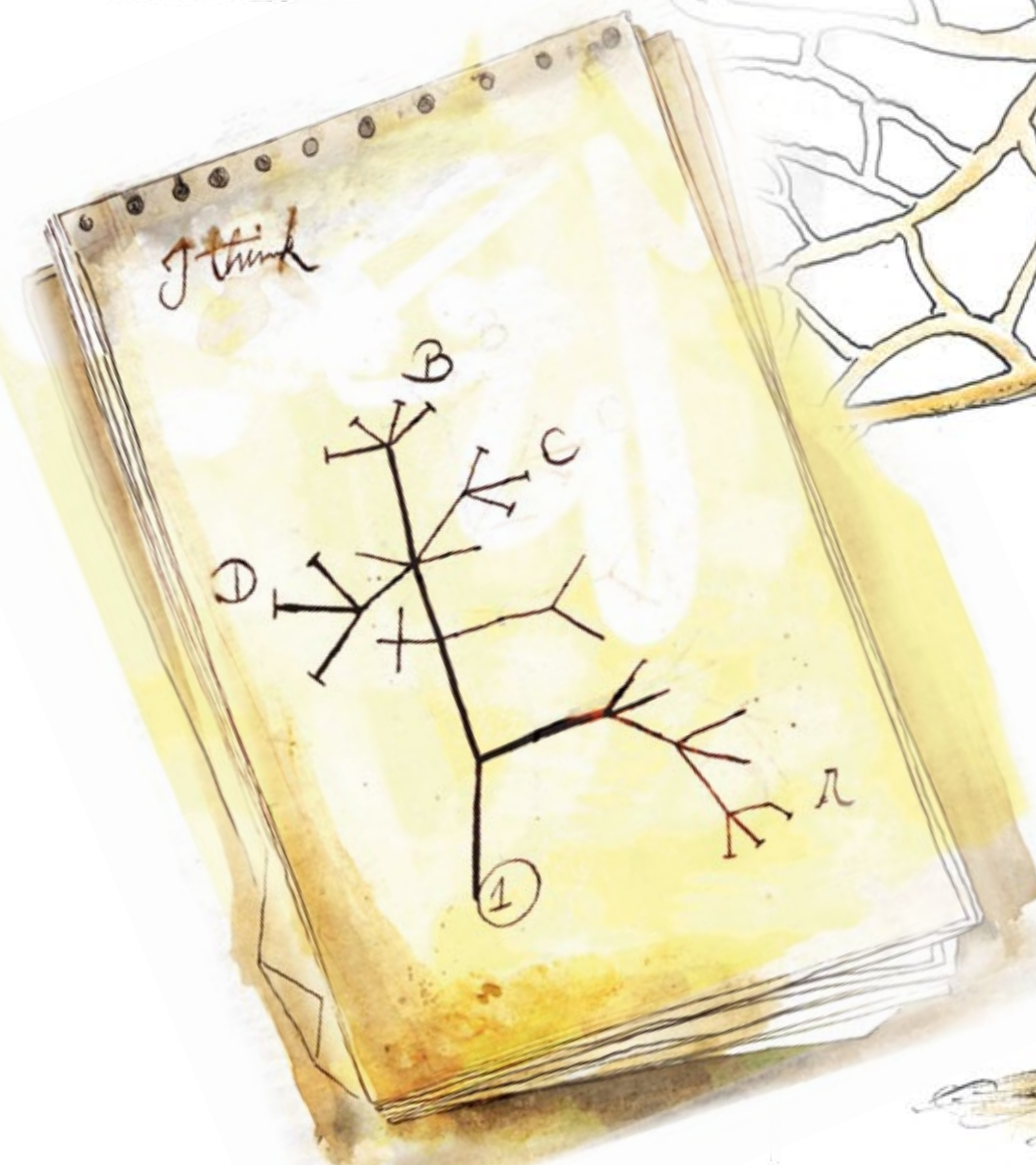


O que nem Darwin imaginava



Um século e meio após a publicação de *A Origem das Espécies*, estudos do genoma e do impacto do ambiente sobre ele desenham uma *Árvore da Vida* bem mais complexa do que imaginou seu autor

Neste novembro as comemorações do bicentenário de nascimento de Charles Darwin (1809-1882) vão atingir seu ponto máximo. Foi neste mês, há 150 anos, que ocorreu a publicação da primeira edição de *A Origem das Espécies*, o livro que inscreveu o naturalista no hall dos grandes gênios da ciência. Embora ninguém questione a grandiosidade do feito intelectual de Darwin – afinal, conceitos como adaptação, evolução e seleção são alguns dos fundamentos da biologia moderna –, são cada vez mais expressivas as vozes que defendem que *A Origem...* não é a última palavra na tentativa de explicar os mecanismos pelos quais a vida se reinventa e se

diversifica. Observações feitas em novas áreas de investigação, como a genômica e a epigenética, não encontram paralelo no pensamento de Darwin. E há quem proponha que talvez seja necessária uma nova revolução conceitual na biologia.

Na verdade, o que se ensina hoje sobre evolução já é uma versão expandida e melhorada do pensamento do naturalista inglês. Darwin não conhecia, por exemplo, o trabalho do monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884), apesar de eles terem sido contemporâneos. Foi somente no início do século 20 que biólogos do Ocidente tiveram contato com os estudos de Mendel sobre hereditariedade, o que levou ao conceito de gene e ao surgimento da genética.

A fusão das ideias propostas pelos dois pensadores começou a ser elaborada na década de 1930 e recebeu o nome de Síntese Evolutiva ou neodarwinista. Em suas elaborações, os biólogos neodarwinistas reservaram para o gene um lugar central.

Mutações na sua estrutura levariam ao aparecimento da grande diversidade de características dos seres vivos, sobre as quais atua a seleção natural. A maior ou menor vantagem adaptativa conferida ao organismo por uma mutação resultaria na variação da frequência da mutação em uma população. Traços como o comportamento social e cooperativo em insetos, animais e até em humanos seriam apenas esforços dos organismos para assegurar a transmissão de suas fitinhas de DNA, mantendo elevadas as frequências daqueles genes. Essa visão, que muitos taxaram de “genecêntrica”, foi radicalizada pelo inglês Richard Dawkins, que afirmou nos anos 1970 que a preservação das sequências de bases nitrogenadas “é a razão última de nossa existência”, e que todos os organismos são só grandes “máquinas de sobrevivência” do próprio material genético.

Papel dos genes

Provêm justamente do estudo dos genes – mais especialmente da genômica, a disciplina que estuda os mecanismos do genoma (o conjunto de genes) – as novidades que estão pondo em xeque algumas das ideias mais tradicionais sobre evolução. “Antes da genômica, havia poucas formas de pesquisar a evolução experimentalmente”, lembra Ney Lemke, professor do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu e pesquisador na área de redes biológicas. “Ficava-se restrito ao estudo de fósseis, a experimentos de reprodução dirigida e a pouca coisa mais.”

Hoje há várias formas de observar em tempo real o processo de variação e seleção que leva ao surgimento de novas variedades de organismos, como exemplifica o pesquisador. “Alguns experimentos cultivam colônias de bactérias tipo *Escherichia coli* [comumente encontrada no intestino humano] em laboratório por décadas, monitorando o aparecimento das mutações no genoma e as consequências que elas

acarretam para as sucessivas gerações. Isso permite acompanhar a evolução passo a passo e testar modelos para refutá-los ou confirmá-los. A pesquisa sobre evolução passa de um debate qualitativo e abstrato para o âmbito da avaliação quantitativa.”

A pesquisa genômica abriu os olhos dos pesquisadores para uma série de fenômenos de cuja existência nem Darwin nem seus seguidores suspeitavam (veja os quadros na página ao lado e nas próximas). São mecanismos como a transmissão horizontal de genes (THG), que consiste na troca de sequências de bases e de pedaços inteiros de genoma entre seres tão diferentes como vírus, bactérias, plantas e animais, incluindo o homem. Ou a metilação de DNA, que permite que indivíduos portadores das mesmas características genéticas apresentem aspectos bem diferentes. Também surpreendem as grandes diferenças de arranjos na estrutura do genoma que podem ser observadas em espécies que, evolutivamente falando, são muito próximas. E, como se não bastasse todo esse movimento, alguns geneticistas estão repensando até a própria definição de gene.

Quando o Projeto Genoma Humano foi iniciado, em 1990, acreditava-se que ele traria a chave para a compreensão do *Homo sapiens*. “Na época havia a crença de que a maior parte dos genes se destinava a codificar proteínas. Por isso, uma vez descoberto esse código, esperava-se que seria possível prever o desenvolvimento do indivíduo”, explica Gustavo Maia Souza, professor-colaborador da Unesp de Rio Claro. Ao longo dos anos 1990 foram

A descoberta de mecanismos como a **transmissão horizontal de genes** abalou um dos principais símbolos do darwinismo, a **Árvore da Vida**, que ele **desenhou para ilustrar** sua teoria de que todos os seres vivos provêm de um ancestral comum

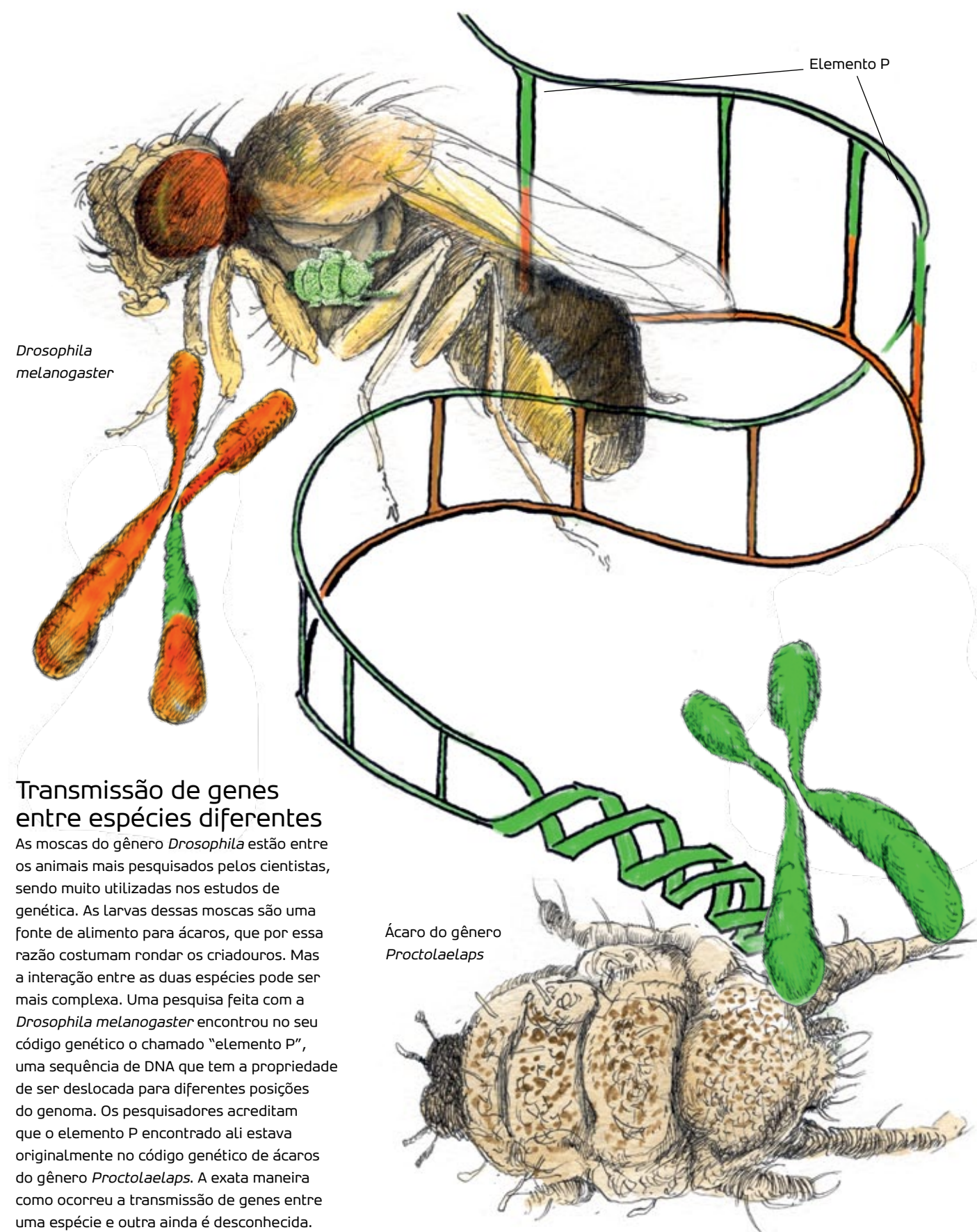
anunciadas descobertas de genes supostamente responsáveis por originar as mais diversas características, do alcoolismo à homossexualidade. O projeto chegou ao fim em 2003, e até 2008 resultados mais acurados continuavam sendo divulgados.

Mas, ao longo desses anos, uma reviravolta aconteceu. Em vez dos cerca de 100 mil genes estimados, os biólogos encontraram menos de 30 mil. Descobriu-se que mais da metade não codificava nenhuma proteína, sendo por isso batizada de “DNA lixo”. E mesmo a parte “funcional” do genoma se comportava de modo estranho, com alguns genes se mostrando capazes de codificar mais de uma proteína. Hoje sabemos que até a posição do gene pode influenciar sua capacidade de dar origem a uma proteína. E que o tal do DNA lixo tem o poder de regular os mecanismos de síntese proteica, estabelecendo os momentos e circunstâncias em que ela vai ocorrer.

“Hoje os geneticistas falam na ação combinada de dezenas ou centenas de genes que interagem simultaneamente para afetar a expressão de uma única característica”, escreve a bióloga israelense Eva Jablonka em seu livro *Evolution in four Dimensions*. “Ficou para trás a época em que o genoma era visto como uma biblioteca de genes individuais – unidades autônomas que produzem sempre o mesmo efeito. E se o genoma é um sistema organizado, em vez de apenas uma coleção de genes, então o processo que gera variação pode ser uma propriedade do próprio sistema, que é regulada e modulada pelo genoma e pela célula”, diz ela.

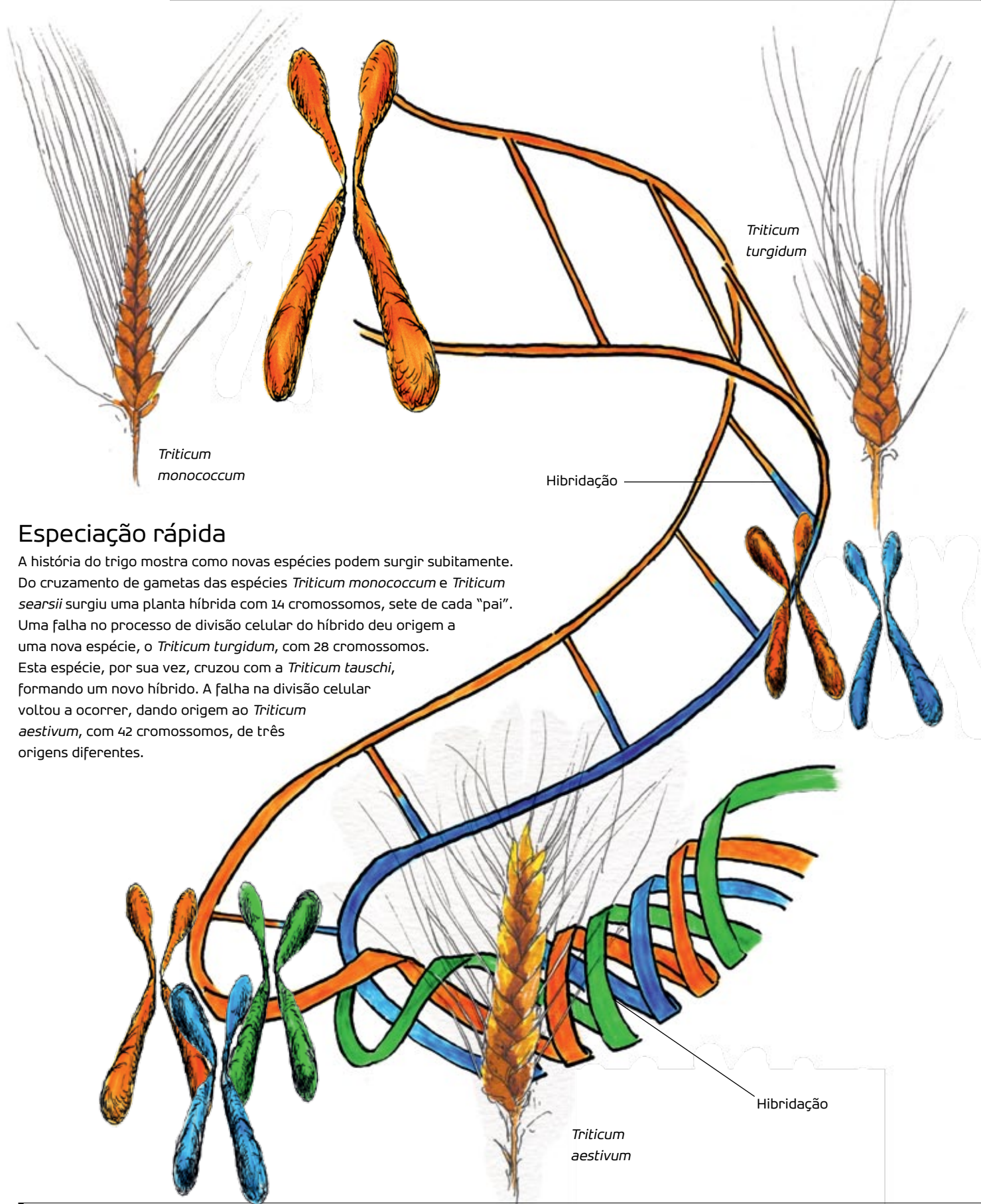
Árvore redesenhada

Tais descobertas estão sendo lentamente assimiladas ao repertório de noções sobre evolução. Uma das primeiras formulações esboçadas é uma crítica à chamada “árvore da vida” – o clássico gráfico que o inglês esboçou para explicar seu pensamento. Acontece que a colocação das espécies distintas em “galhos” divergentes sugere uma transmissão de genes apenas da espécie ancestral para a sucessora, pressupondo um isolamento entre os organismos que não é compatível com o que sabemos agora a respeito da troca horizontal de genes.



Transmissão de genes entre espécies diferentes

As moscas do gênero *Drosophila* estão entre os animais mais pesquisados pelos cientistas, sendo muito utilizadas nos estudos de genética. As larvas dessas moscas são uma fonte de alimento para ácaros, que por essa razão costumam rondar os criadouros. Mas a interação entre as duas espécies pode ser mais complexa. Uma pesquisa feita com a *Drosophila melanogaster* encontrou no seu código genético o chamado “elemento P”, uma sequência de DNA que tem a propriedade de ser deslocada para diferentes posições do genoma. Os pesquisadores acreditam que o elemento P encontrado ali estava originalmente no código genético de ácaros do gênero *Proctolaelaps*. A exata maneira como ocorreu a transmissão de genes entre uma espécie e outra ainda é desconhecida.



Especiação rápida

A história do trigo mostra como novas espécies podem surgir subitamente. Do cruzamento de gametas das espécies *Triticum monococcum* e *Triticum searsii* surgiu uma planta híbrida com 14 cromossomos, sete de cada "pai". Uma falha no processo de divisão celular do híbrido deu origem a uma nova espécie, o *Triticum turgidum*, com 28 cromossomos. Esta espécie, por sua vez, cruzou com a *Triticum tauschii*, formando um novo híbrido. A falha na divisão celular voltou a ocorrer, dando origem ao *Triticum aestivum*, com 42 cromossomos, de três origens diferentes.

"Com certeza, no primeiro bilhão de anos após o surgimento da vida, a transferência horizontal de genes era algo muito frequente entre os seres vivos", explica Aldo Mellender, geneticista e professor de História das Ideias sobre Evolução Biológica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. "E mesmo hoje continua havendo grande troca de material por essa via", diz. "Fenômenos como o aumento de resistência entre bactérias do tipo *E. coli* se devem à capacidade que elas têm de trocar genes entre si", complementa Lemke.

"A transmissão horizontal de genes implica que certas características de um organismo são oriundas de outras espécies que vivem no mesmo ambiente. A ideia da árvore da vida não se sustenta", diz. Mellender concorda: "A imagem da árvore [original] ficou comprometida. Mais adequado é imaginar uma figura onde os vários galhos estejam ligados uns aos outros." A ilustração que abre esta reportagem mostra à esquerda a árvore de Darwin e, à direita, a proposta para englobar a transmissão horizontal.

Outro conceito visado é o de que as transformações nos organismos são gradativas. Em sete oportunidades, Darwin escreveu que *natura non facit saltum* (a natureza não dá saltos). Os seres vivos passariam por pequenas mudanças. Se elas conferissem alguma vantagem adaptativa, seriam acumuladas ao longo do tempo, e o processo eventualmente levaria ao surgimento de novas espécies. Essa perspectiva foi questionada ainda no século 19 por ninguém menos do que T. H. Huxley, na época o mais destacado defensor das ideias de Darwin. Mas no século 20 o gradualismo foi abraçado pela síntese neodarwinista.

Somente nos anos 1970 o paleontólogo americano Stephen J. Gould (1941-2002) chamaria a atenção para o fato de que há poucos fósseis que retratam a transição entre espécies. Ele procurou formular uma nova teoria, denominada Equilíbrio Pontuado, que sugere que o surgimento de novas espécies ocorre de forma mais rápida. Hoje o argumento fóssil de Gould é complementado pelas evidências genômicas.

A transmissão horizontal faz com que alguns seres vivos subitamente incorporem ao seu genoma genes inteiros de uma

espécie diferente. "Também são comuns episódios onde se vê toda a reorganização da estrutura de DNA de um organismo", diz Lemke. "A evolução embaralha o genoma, reorganiza, faz rearranjos complexos que podem ser comparados a saltos. É um processo muito maior do que só o acúmulo de pequenas mutações", complementa.

Mellender afirma que mesmo a síntese neodarwinista já falava na possibilidade de eventos rápidos de especiação. E a genômica só tem reforçado a possibilidade. "Um exemplo que vemos de salto é o fenômeno da poliploidia entre os vegetais", explica. Ele cita o trigo. Os ancestrais da planta tinham 14 cromossomos. Nas gerações seguintes, por problemas de divisão celular e hibridizações, acabaram surgindo indivíduos com 42 cromossomos, configurando uma espécie nova (veja ao lado).

Talvez a mudança conceitual mais significativa esteja no papel desempenhado pelo ambiente no processo de evolução. Para Darwin, as condições ambientais atuavam como uma peneira sobre os seres vivos em perpétua transformação, favorecendo algumas características surgidas e descartando outras. Mas os estudos em epigenética têm mostrado que, além de selecionar modificações em organismos, os fatores ambientais têm o poder de causá-las.

Um dos primeiros defensores desta ideia foi o biólogo inglês Conrad Waddington (1905-1975), que cunhou o termo epigenética. Em série de experimentos feitos nos anos 1940, ele expôs larvas de moscas drosófilas a elevadas temperaturas. Como resultado do choque térmico, 40%

das moscas, ao se tornarem adultas, demonstravam uma diferença na aparência: não apresentavam mais o característico desenho de veias nas asas. Waddington então fazia com que as moscas com a modificação cruzassem entre si, e submetia a prole ao mesmo tratamento de exposição ao calor. A seguir, repetia o processo de selecionar os espécimes sem sinais de veias e de fazê-los cruzar entre si.

O resultado é que, em cada etapa, crescia o número de indivíduos que, embora possuísem a configuração genética para tal, não exibiam veias. Em menos de 20 gerações, eles chegaram a constituir 90% da população. Mais impressionante foi constatar que, a partir da 14ª geração, algumas moscas começaram a apresentar a modificação sem nem passarem pela exposição ao calor. Apenas pelo cruzamento, o biólogo obteve uma população com quase 100% dos indivíduos sem marcas nas asas. Em outras palavras, um traço adquirido havia sido assimilado e incorporado pelo mecanismo de hereditariedade, sem que houvesse mutações nos genes. Há ocorrências disso inclusive em humanos.

"Reabilitação" de Lamarck

Essas descobertas de certo modo reabilitam ideias do francês Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829), que afirmava que características adquiridas por indivíduos em suas interações com o ambiente podiam ser transmitidas à prole. Ele propunha, por exemplo, que girafas têm pescoço comprido porque seus pais tiveram de se esticar para alcançar alimento nas árvores. Quando Darwin propôs que o ambiente era apenas uma instância de seleção de variações, Lamarck foi posto de escanteio.

O pensamento neodarwinista estabeleceu uma profunda separação entre os processos internos que geram o organismo e o mundo exterior. Reunir esses dois elementos é o desafio para os teóricos da evolução do século 21, que poderiam, num gesto surpreendente, adaptar algumas das ideias lamarckistas para a era genômica. "É possível que existam mecanismos lamarckistas que permitam a herança de mudanças genômicas induzidas por fatores ambientais. Mas até recentemente

Talvez a mudança mais conceitual proposta pelas novas pesquisas seja sobre o papel do ambiente no processo evolutivo. Em vez de atuar como mero filtro sobre as características, como proposto por Darwin, o ambiente teria o poder de causá-las

a afirmação de que variações adquiridas poderiam ser herdáveis constituía uma heresia grave que não deveria ter lugar na teoria evolutiva”, escreve Eva Jablonka.

“Para o neodarwinismo, o organismo era um sistema fechado. Tudo o que acontecia nele era decorrência de um código informacional, o genoma”, diz Gustavo Maia Souza. “A epigenética abre o sistema, pois reconhece que os seres vivos, mesmo possuindo uma base genética, dependem também do contexto ambiental. O contexto onde aquele genoma está vai refletir em leituras distintas daquela informação.”

Souza acredita que as novas descobertas irão fazer crescer na biologia os estudos de sistemas complexos, justamente o tema da disciplina que ele ministra em Rio Claro. “Os estudos em epigenética chegam a ser revolucionários”, avalia Mellender. “Estão trazendo uma evidência tão forte que é difícil negar. Talvez por fruto da herança de Darwin, tenhamos dado ênfase demais a uma visão do ambiente agindo apenas como um filtro. Não está sendo fácil aceitar que ele possa ter um papel muito mais importante do que se pensava anteriormente.”

Para Souza, a mudança que se avizinha deverá ser ainda maior. “O pensamento clássico via os genomas como sistemas fechados, é determinista e reducionista: tal gene gera tal proteína”, diz. “A epigenética mostra que os sistemas biológicos, mesmo tendo uma base genética, são dependentes do contexto ambiental.” Com base nisso, ele defende a adoção de uma descrição dos organismos na qual eles sejam vistos como sistemas autoorganizados, de modo que a variabilidade de características dos seres vivos não se deveria à aleatoriedade, mas a propriedades físico-químicas intrínsecas dos organismos.

Ponto contra o criacionismo

É importante ressaltar que tais propostas de revisão crítica das ideias de Darwin em nada beneficiam adversários do pensamento evolucionista como os adeptos do criacionismo ou do Design Inteligente. Muito pelo contrário. Mellender explica que um dos argumentos do DI é que fenômenos como o movimento dos flagelos em micro-orga-

nismos se baseiam em interações moleculares tão complexas que não poderiam ter se formado gradualmente. Já teriam surgido “prontos”. Dá-se a este argumento o nome de complexidade irreduzível.

Mas pesquisadores da genômica já conseguiram formar redes de interação metabólicas altamente complexas, envolvendo mais de 20 mil proteínas. E elas foram formadas por pequenos acréscimos e perdas, exatamente da maneira prevista pelo princípio da seleção natural. Lemke diz que mesmo a nossa visão sobre o funcionamento dos flagelos mudou. “A genômica mostra de forma bastante clara que esse processo ocorreu ao longo de muito tempo. Temos inclusive uma ideia dos passos evolutivos. No caso da *E. coli*, por exemplo, podemos mostrar que as proteínas que compõem o flagelo ocorrem em outras espécies de bactérias, em muitos casos com funções levemente diferentes”, explica. “A ideia de complexidade irreduzível não encontra comprovação empírica”, diz Mellender.

Há quem sustente, porém, que nenhuma grande revisão da síntese neodarwinista seja necessária, pelo menos por enquanto. É o que pensa Guaracy Rocha, coordenador do curso de Ciências Biológicas da Unesp em Botucatu, que há 20 anos ministra a disciplina de evolução. “A essência do pensamento darwinista consiste em afirmar que os organismos se modificam, que essas modificações acontecem por um processo de seleção que atua entre as diversas variantes e que essas variações não ocorrem com fins específicos. Nada disso é contestado pelas descobertas feitas na genômica e na epigenética”, diz.

Apesar de proporem algumas mudanças aos preceitos de Darwin e seus seguidores, **as críticas não dão suporte aos adversários do evolucionismo**, como os adeptos do criacionismo. Pelo contrário, elas **reforçam as previsões da seleção natural**.

Quanto à árvore da vida, Rocha concorda que a imagem não mais representa o conhecimento que temos hoje, embora ressalte que ela traduzia, e bem, o que se sabia na época em que foi proposta. Ele acredita que a principal contribuição trazida pelas pesquisas efetuadas nos últimos anos é a possibilidade de compreender melhor os mecanismos que levam à formação de novas espécies entre as várias formas de seres vivos – um problema, aliás, que Darwin não chegou a solucionar, apesar do título de seu livro. “Estamos vendo que o processo de surgimento de espécies novas entre os vegetais é totalmente diferente do que se pode observar em bactérias ou em vírus. Essa nova variante da gripe suína, por exemplo, surgiu da recombinação de três espécies anteriores de vírus, através de um mecanismo que décadas atrás a gente nem sequer suspeitava que existisse.”

Ele afirma que Darwin tinha mais interesse por Lamarck do que se pensa hoje em dia, mas contesta a visão de que a epigenética possa levar a uma retomada das ideias do francês. “Já se sabia antes que a expressão do genoma resulta da interação entre este e o ambiente. Mas as mutações nos genes, que podem ou não ser inibidas por fatores ambientais, não surgiram especificamente para atender a nenhuma função. Elas foram produzidas e descartadas pela ação da seleção. E isso não é lamarckismo, é darwinismo”, diz.

Para os defensores de uma revisão da teoria, o problema é que ainda há lacunas a serem preenchidas, como afirma Souza: “Darwin demonstrou de uma forma muito bonita que existe um processo evolutivo. A questão é se ele é geral. As evidências da paleontologia demonstram isso. Agora como isso acontece é que é complicado. A seleção natural é um mecanismo forte, mas não de criação de espécies”.

Diante dessa diversidade de visões, é de se esperar, pelos próximos anos, discussões vigorosas entre as várias correntes, que talvez venham a culminar em uma teoria da evolução 2.0. Mas, independentemente de qual venha a se mostrar predominante daqui a 20 ou 30 anos, tanto umas quanto outras, na verdade, são expressões do profundo valor científico da obra de Darwin.

Influência do ambiente

Quando os radicais metil (agrupamentos de átomos de carbono e de hidrogênio) se ligam a certas regiões do DNA (que ficam ao redor das proteínas chamadas histonas), eles “trancam” os genes, impedindo que se expressem sob a forma de proteínas. Um experimento realizado por pesquisadores da Universidade Duke, nos EUA, analisou uma linhagem de camundongos agouti que tinha predisposição genética à obesidade e à pelagem clara. As duas características eram condicionadas por um gene. Uma fêmea obesa e de pelagem clara foi alimentada antes e depois da gravidez com uma dieta rica em radicais metil. Os compostos chegaram até os fetos gerando uma prole majoritariamente de pele escura e magra. Quando estes animais tiveram filhos, por sua vez, também passaram essas características às gerações seguintes.

