

Sistemas de Herança: As Múltiplas Dimensões da Evolução

[Inheritance Systems: The Multiple Dimensions of Evolution]

Rosana Tidon*

Resumo: A teoria evolutiva unifica as Ciências Biológicas e tem sido também aplicada em diversos setores das Ciências Exatas e Humanas. Originalmente proposta por Darwin como “descendência com modificação”, ela pressupõe a existência de variação herdável que é transmitida de forma desigual para a geração seguinte. No século XX, entretanto, essa teoria adquiriu um viés fortemente genético: a evolução biológica passou a ser compreendida como um processo que modifica a composição dos genes de uma população no decorrer de gerações. Nasce aqui o determinismo genético, o qual inspirou ideias sobre sociobiologia e genes egoístas, dentre outras. Nas últimas décadas, diversos evolucionistas têm enfatizado que, além da dimensão genética, há outros sistemas de herança que também podem promover a descendência com modificação. Neste artigo serão apresentados os sistemas de herança biológica e cultural, atualmente reconhecidos pelos biólogos evolucionistas, e que têm sido explorados e divulgados pelo Prof. Paulo Abrantes como importantes fontes de variação associadas à evolução humana.

Palavras-chave: Teoria Moderna da Evolução, Síntese Evolutiva Estendida, Determinismo Genético, Teoria da Dupla Herança

Abstract: Evolutionary theory unifies Biological Sciences and has also been applied in several areas of Exact and Human Sciences. Originally proposed by Darwin as "descent with modification," it presupposes the existence of inheritable variation that is transmitted unequally to the next generation. In the twentieth century, however, this theory took on a strongly genetic bias: biological evolution came to be understood as a process that modifies the composition of a population's genetic pool throughout successive generations. Here arises the genetic determinism, which inspired ideas about sociobiology and selfish genes, among others. In the last decades, several evolutionists have emphasized that, in addition to the genetic dimension, there are other systems of inheritance that can also promote evolutionary change. Here I present the biological and cultural heritage systems currently recognized by evolutionary biologists, which have been explored and disseminated by Paulo Abrantes as essential sources of variation associated with human evolution.

Key words: Dual Inheritance Theory, Genetic Determinism, Extended Evolutionary Synthesis, Modern Theory of Evolution.

*Professora Titular do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. E-mail: rotidon@unb.br

A Teoria Evolutiva nos séculos XIX e XX

A teoria evolutiva popularizada na obra *A Origem das Espécies* (DARWIN, 1859) revolucionou as Ciências Biológicas. A ideia de que diferentes espécies evoluíram a partir de ancestrais comuns, pelo processo de seleção natural, contrasta fortemente com a crença de que cada uma surgiu independentemente por criação divina. A evolução das espécies passou a ser representada como ramificações da árvore da vida e a ser explicada por mecanismos naturais. Essa mudança de paradigma, por sua vez, inspirou diversas linhas de pesquisa.

No início do século XX, com a redescoberta das leis de Mendel (publicadas originalmente em 1965), se estabeleceu uma importante controvérsia entre duas linhas de investigação científica. Por um lado, os biometristas registravam que muitas características, tais como o peso, a altura e a cor da pele, variam de maneira contínua e quantitativa entre indivíduos da mesma população. Haveria, portanto, farta variação com potencial de responder à seleção natural. Biometristas, portanto, defendiam que a mudança evolutiva é gradual e conduzida por seleção natural. Os seguidores de Mendel, por outro lado, registravam variações descontínuas e muitas vezes biná-

rias, como as sementes de ervilhas que são verdes ou amarelas, lisas ou rugosas, sem estados intermediários entre esses extremos, e que a mudança evolutiva ocorria aos saltos, mediante macromutações. Afinal, pensavam, se as características dos organismos são herdadas como unidades discretas, então a evolução ao longo do tempo não pode ser gradual. Por fim, enquanto os biometristas defendiam que a variação populacional resulta da interação entre a herança biológica e o ambiente, os mendelianos entendiam que as características individuais eram determinadas por *fatores* herdáveis (posteriormente chamados de *genes*). Com a morte prematura de Weldon, em 1906, a visão mendeliana prevaleceu (RADICK, 2016).

No período compreendido entre 1918 e 1950, uma nova geração de investigadores, dotados de robusto treinamento matemático e estatístico, percebeu a possibilidade de conciliar a genética mendeliana, incluindo as mutações, com a variação contínua observada pelos biometristas em caracteres quantitativos (MAYR, 1982). Ronald Fisher, John B.S. Haldane e Sewall Wright, dentre outros, trataram os genes mendelianos como entidades matemáticas, e a evolução passou a ser entendida como a mudança na composição genética das populações ao longo das gerações

(FISHER, 1918, 1930; HALDANE, 1932; WRIGHT, 1932). Essa é a base da Teoria Moderna da Evolução (HUXLEY, 1942), que se sustenta sobre pilares genéticos e se conecta com diversas outras áreas das Ciências Biológicas, tais como a Paleontologia (SIMPSON, 1944), a Zoologia (MAYR, 1942) e a Botânica (STEBBINS, 1950).

O estabelecimento da Teoria Moderna, também conhecida como Síntese Moderna ou Teoria Sintética, foi um dos mais importantes eventos da Biologia Evolutiva do século XX (LOSOS, 2017). A descendência com modificação de Darwin passou a ser estudada mediante modelos preditivos teóricos das áreas de genética quantitativa e genética de populações. As décadas que se seguiram, contudo, foram marcadas por avanços tecnológicos e intelectuais que, se por um lado criaram expectativas, por outro proporcionaram dados que nem sempre suportam as previsões da Teoria Moderna.

A evolução do comportamento animal, incluindo o humano, tem intrigado diversas gerações de evolucionistas. O próprio Darwin discutiu nossos sentimentos sociais e raciocínio sob a perspectiva evolutiva, na obra *The Expression of Emotion in Man and Animals*, publicada em 1872. Foi a partir da década de 1960, contudo, que foram concebidos diversos modelos

teóricos para capturar o comportamento de animais sociais, particularmente os insetos. Diversos cientistas consideram que o livro *Sociobiology*, publicado por Edward Wilson em 1975, é o marco que estabeleceu essa área de investigação como uma disciplina (LOSOS, 2017). Os sociobiólogos atribuem bases genéticas robustas ao comportamento animal, por entenderem que em última análise a seleção atua sobre os genes que envolvidos com diferentes tipos de condutas perante o ambiente. Foi nessa época que se popularizou a metáfora de que os genes mantêm a cultura sob rédea curta, representando a ideia de que a cultura é o reflexo de um sistema genético que a controla. Por fim, a publicação do clássico *The Selfish Gene* (DAWKINS, 1976) contribuiu para defender a tese de que características complexas, como o comportamento, são fortemente determinadas por genes. Se estabelece aqui o genocentrismo, ou determinismo genético.

No cenário genocêntrico do final do século XX, o sequenciamento do genoma humano gerou uma enorme expectativa tanto em cientistas como na população em geral. Muitos pensaram que o conhecimento da sequência dos nucleotídeos que compõem nosso DNA revelaria não só a essência, mas também muitos detalhes do ser hu-

mano. O renomado professor Harvey F. Lodish (1995, p. 1609), por exemplo, quando entrevistado pela revista *Science*, disse o seguinte sobre sua visão de futuro:

By using techniques involving in vitro fertilization, it is already possible to remove one cell from the developing embryo and characterize any desired region of DNA. Genetic screening of embryos, before implantation, may soon become routine. It will be possible, by sequencing important regions of the mother's DNA, to infer important properties of the egg from which the person develops. This assumes that predictions of protein structure and function will be accurate enough so that one can deduce, automatically, the relevant properties of many important proteins, as well as the regulation of their expression (for example, how much will be made at a particular stage in development in a particular tissue or cell type) from the sequence of genomic DNA alone. All of this information will be transferred to a supercomputer, together with information about the environment including likely nutrition, environmen-

tal toxins, sunlight, and so forth. The output will be a color movie in which the embryo develops into a fetus, is born, and then grows into an adult, explicitly depicting body size and shape and hair, skin, and eye color. Eventually the DNA sequence base will be expanded to cover genes important for traits such as speech and musical ability; the mother will be able to hear the embryo as an adult speak or sing.

Já se passaram mais de duas décadas desde a publicação da predição acima, e ela ainda não se concretizou. Na verdade, o conhecimento produzido nesse período revelou que a predição de características biológicas complexas é muito mais difícil do que se imaginava. Isso acontece porque os genes não são fatores independentes, como assume a teoria mendeliana, mas se relacionam uns com os outros e também com o ambiente. Em um mesmo indivíduo, a expressão de genes isolados, ou de conjuntos deles, pode ocorrer ou não em função do tipo de ambiente onde ele se desenvolve. Nesse contexto será muito difícil descrever um indivíduo com precisão, com base apenas no seu DNA. É necessário conhecer também diversos aspectos do ambiente onde ele se desenvolveu, tais

como a qualidade da nutrição obtida, as interações com outros indivíduos da comunidade, e se foi submetido a estresses climáticos.

A complexidade do comportamento humano tem chamado a atenção não só da Biologia, mas também da Psicologia, da Sociologia, da Antropologia e da Filosofia, dentre outras áreas. Na seção seguinte, serão discutidas algumas das reflexões de Paulo Abrantes sobre explicações biológicas para a evolução da cooperação, e sobre a Teoria da Dupla Herança.

Paulo Abrantes e as Ciências Biológicas

Ao longo de sua trajetória acadêmica, Abrantes contribuiu para o intercâmbio entre filósofos e biólogos (ABRANTES, 1998, 2009, 2014a, entre outros). No domínio da evolução humana, ele argumenta que investigações empíricas devem ser integradas a outras abordagens, tais como análises conceituais e simulações, pois a associação entre diferentes métodos pode revelar cenários mais plausíveis acerca de como nossa espécie evoluiu em suas diversas fases. No presente texto, são focalizados principalmente artigos publicados entre 2011 e 2014, quando Abrantes explora conexões entre natureza e cultura, principalmente a evolução da mente normativa, o

papel do conflito e da cooperação, e a existência de processos evolutivos assentados em sistemas não-genéticos de herança (ABRANTES 2011ab, 2012, 2013 ab, 2014 abc; ALMEIDA e ABRANTES, 2012).

Uma alternativa a assumir que a evolução do comportamento social se baseia exclusivamente no sistema de herança genético, é considerar que a herança cultural também desempenha um papel importante nesse processo. De acordo com a perspectiva adotada por Richerson e Boyd (2005), a cultura evolui de forma análoga à evolução genética: determinadas variantes culturais se disseminam, enquanto outras diminuem sua frequência na população. Alguns mecanismos evolutivos são análogos nos dois sistemas de herança: novas variantes surgem por mutação, estão sujeitas à seleção natural, e também a forças aleatórias como a deriva genética. Outros mecanismos, como a transmissão horizontal, parecem ser predominantemente culturais. Nesse sentido, a perspectiva da Teoria da Dupla Herança para explicar o comportamento humano é fundamentalmente distinta da adotada pela sociobiologia. Nesta última, a cultura é interpretada como o fruto de uma psicologia que evoluiu exclusivamente com base em uma herança genética clássica. A abordagem da dupla herança, por outro

lado, reconhece que a cultura está sob uma rédea, mas que o cachorro no fim da coleira é grande, esperto e independente. Assim, em uma caminhada, é difícil dizer quem está levando quem (RICHERSON e BOYD, 2005, p. 195).

Ao examinar a evolução humana sob diferentes perspectivas, Abrantes analisou criticamente a dicotomia entre natureza e cultura, bem como possíveis formas de superá-la (ABRANTES e ALMEIDA, 2011; ABRANTES 2012, 2014a). Em consonância com os princípios da Biologia, ele considera que compartilhamos características comportamentais com outros hominíneos, devido a nossa ancestralidade comum, e sugere buscarmos em nossa ancestralidade características que teriam sido precursoras, em alguma medida, das que nos são próprias (ABRANTES, 2012ab). Dentre essas características, ele se interessou particularmente pelos tipos de mente que evoluíram na linhagem hominínea e/ou em linhagens ancestrais (ABRANTES, 2014b). Adicionalmente, em sintonia com a Antropologia, ele investigou características culturais que são próprias dos humanos e se sobrepõem à nossa animalidade (ABRANTES, 2013b).

Nesse contexto, Almeida e Abrantes (2012) incorporaram a cooperação e o conflito huma-

nos, juntamente com seus pré-requisitos cognitivos, em um cenário mais amplo que contempla as demais transições rumo à nossa individualidade. Com base em contribuições de antropólogos (SOLTIS et al., 1995; IRONS, 2009), eles partiram da premissa de que diferentes grupos culturais geralmente vivenciam conflitos que, por sua vez, conduzem à competição entre esses grupos. Os autores defendem a tese de que nesse cenário, de variação cultural intergrupar e competição, foram selecionados indivíduos que eram altruístas com outros membros do próprio grupo, mas agressivos com os de outras comunidades.

Essa avaliação o levou a concluir que a cultura provavelmente desempenhou um papel fundamental na conformação da nossa linhagem, pois contribuiu para sustentar o comportamento cooperativo em grandes grupos (ABRANTES, 2014c; ALMEIDA e ABRANTES, 2012). As contribuições de Paulo Abrantes, portanto, apoiam a Teoria da Dupla Herança ao defender que, a partir de um certo ponto da evolução na linhagem hominínea, a cultura se tornou um sistema de herança que atua paralelamente e em conexão com a herança genética. No contexto desta teoria, a cultura é definida como informações que os indivíduos adquirem de outros membros da sua espécie,

mediante aprendizagem, imitação ou outras formas de transmissão social, as quais podem alterar o comportamento dos próprios indivíduos.

A Teoria Evolutiva do século XXI: expansão e integração com outras áreas?

Nas últimas décadas, as Ciências Biológicas registraram significativos avanços conceituais e metodológicos, particularmente nas áreas de Genética, Ecologia, Microbiologia, Biologia Molecular, Biologia do Desenvolvimento, e Comportamento Animal. Da mesma forma, diversas disciplinas das Ciências Humanas se expandiram e reconheceram o Sistema de Herança Cultural como um importante componente da evolução humana. Apesar disso, o arcabouço da Teoria Moderna da Evolução se manteve praticamente inalterado. O fato de que conceitos e dados mais recentes não se encaixam bem no escopo original dessa teoria, entretanto, tem propiciado fervorosos debates científicos e questionado vários de seus aspectos (veja, por exemplo, JABLONKA e LAMB, 1995; SCHLICHTING e PIGLIUCCI, 1998; GOULD, 2002; ODLING-SMEE et al., 2003; WEST-EBERHARD, 2003). Como consequência, tem sido aventada a pertinência de

se expandir a teoria moderna, de forma a agregar as contribuições das últimas décadas (CARROLL RL, 2000; KUTSCHERA e NIKLAS, 2004; MÜLLER 2007; PIGLIUCCI 2007; ROSE e OAKLEY 2007; CARROLL SB, 2008). Essa expansão, que tem sido chamada de Síntese Evolutiva Estendida (WHITFIELD 2008; PUGLIUCCI e MULLER, 2010; LALAND 2018), resulta de linhas de pesquisa amplas e multifacetadas e, segundo seus proponentes, está em andamento.

A Teoria Moderna da Evolução demorou mais que uma década para ser consolidada, e a síntese atual deve demorar mais ainda porque contempla uma enorme quantidade de dados procedentes de diversas disciplinas. Em julho de 2008, entretanto, ocorreu um evento que foi considerado um marco na história da Biologia Evolutiva (PENNISI, 2008). Nessa ocasião, um grupo de 16 biólogos evolucionistas e filósofos da ciência se reuniram no Instituto Konrad Lorenz, localizado em Altenberg, na Áustria, para discutir pertinência de se expandir a Teoria Moderna. Durante três dias eles discutiram informações empíricas e teóricas de diferentes áreas do conhecimento, identificaram mudanças conceituais em áreas tradicionais da Biologia Evolutiva, como a Genética Quantitativa, bem como a emergência de áreas inteiri-

ramente novas, como a Genômica e a EvoDevo. As contribuições desse encontro, denominado “Altenberg 16” foram reunidas no livro editado por Maximo Pigliucci e Gerd Müller (2010), intitulado *Evolution – The Extended Synthesis*.

Dentre as discussões promovidas no encontro de Altenberg, foram abordados e reconhecidos sistemas hereditários que não integram a estrutura da Teoria Moderna de 1940. Eva Jablonka e Marion Lamb abordaram a herança epigenética transgeracional, John Odling-Smee a Construção de Nicho, Chrisantha Fernando, juntamente com Eörs Szathmáry, estenderam o princípio replicador para a evolução neuronal, cérebro e linguagem, e David Sloan Wilson expandiu o conceito de seleção natural como um mecanismo que atua em vários níveis, não apenas no nível genético. Essas contribuições viabilizam a integração da Biologia Evolutiva com diversas outras disciplinas, e incorporam a herança cultural como um importante componente da evolução humana.

A ideia de que animais modificam ambientes foi explicitada formalmente em meados do século XX (WADDINGTON, 1959), e posteriormente aprofundada e defendida pelo renomado biólogo evolucionista Richard Lewontin (1983). Este último argumentou que os organismos não se ajustam passiva-

mente aos ambientes, tendo em vista que os constroem a partir de componentes extraídos do mundo exterior. A Teoria da Construção de Nicho (ODLING-SMEE et al., 2003) expandiu essa ideia, formalizando que os organismos modificam o ambiente a cada geração, o que altera não só as pressões seletivas que atuam sobre o próprio organismo que promoveu a modificação, mas também sobre outros elementos da comunidade. Trata-se, portanto, de uma via de mão dupla que não está presente na Teoria Moderna da Evolução. A construção de nicho está por toda parte. Dentre os exemplos mais conspícuos, vale ressaltar as barreiras construídas por castores, os ninhos construídos por diversos animais e, evidentemente, as alterações que nossa espécie promove no planeta.

A Teoria da Construção de Nicho reconhece que, ao longo da evolução humana, um sistema de herança cultural transmitiu conhecimentos e bens materiais. Ao contrário da herança genética (vertical, ao longo das gerações), contudo, esse sistema também dissemina informações horizontalmente, inclusive entre indivíduos não aparentados. Nesse contexto, ele fornece os mecanismos que sustentam duas das dimensões (análogas aos sistemas de herança aqui explorados) apresentadas na clássica obra de Jablonka e

Lamb (2005), intitulada *Evolução em Quatro Dimensões: a dimensão comportamental e a simbólica*. Juntas, essas duas dimensões abrangem a herança das organizações sociais, das redes de comunicação, das tradições comportamentais nos animais, e do legado cultural em humanos. Por fim, os sistemas de herança interagem uns com os outros, como observado na evolução da tolerância a lactose (sistema genético) em povos com tradições agropastoris (sistema cultural).

Os biólogos evolutivos que admitem diferentes sistemas de herança salientam que a integração entre eles modifica a dinâmica na teoria evolutiva e facilita sua conexão com outras disciplinas. Nesse cenário, as Ciências Biológicas se aproximam das Humanas, e essa interação fornece subsídios para um melhor entendimento da evolução humana. O filósofo Paulo Abrantes sempre defendeu essa aproximação entre áreas, e ao longo da carreira contribuiu para concretizá-la:

Para fazer face à complexidade dos processos de desenvolvimento e de evolução no caso humano, uma revisão profunda da própria teoria sintética da evolução pode ser necessária, como Ingold pleiteia. Eu não estou ple-

namente convencido disso, e ainda é cedo para avaliar até que ponto irão essas revisões. (...). Tudo indica, contudo, que um maior intercâmbio entre a biologia evolutiva e as ciências sociais levará a modificações, mais ou menos profundas, nos esquemas teóricos que hoje gozam de consenso em cada um desses campos. Em particular, dicotomias como a de natureza/cultura serão deixadas para trás, como simples contingências na história dos nossos esforços para compreender o humano (ABRANTES, 2014, p. 21).

Em suma, vivemos um período muito especial na Biologia Evolutiva, com desafios que só serão superados mediante abordagens multidisciplinares. A compreensão da evolução humana, particularmente, só será possível se agregarmos as múltiplas e complexas vertentes que caracterizam o ser humano. Assim, é claramente desejável que as interfaces entre áreas continuem a ser exploradas por estudiosos e profissionais com diferentes formações.

Agradecimentos

Agradeço os colegas M. M. Brígido e F. Horst pelas críticas e sugestões em versões anteriores do manuscrito, e ao CNPq pela Bolsa-PQ re-

cebida (Proc. 309973/2017-1).

Referências bibliográficas

- ABRANTES, P.C. *Imagens de natureza, Imagens de Ciência*. Campinas: Papirus, 1998.
- _____. *Filosofia da Biologia*. Artmed Editora, 2009.
- _____. “Culture and transitions in individuality”. In: Dutra, L.H.A.; Luz, A.N. (Org.). *Temas de Filosofia do Conhecimento*. 1^{ed}. Florianópolis: Núcleo de Epistemologia e Lógica da Universidade Federal de Santa Catarina, p. 395-408, 2011a.
- _____. “Human evolution: Compatibilist Approaches”. In: KRAUSE, D.; VIDEIRA, A. (Org.). *Brazilian Studies in Philosophy and History of Science*. Dordrecht: Springer, v. 1, p. 171-183, 2011b.
- _____. “Aspectos metodológicos de la teoría de la herencia dual en la evolución humana”. In: CONTRERAS, J.M.; LEÓN, A.P. (Org.). *Darwin y el evolucionismo contemporáneo*. 1ed. Mexico: Siglo XXI, v., p. 135-152, 2012.
- _____. “Evolução humana: estudos filosóficos”. *Revista de Filosofia Aurora* (PUCPR. Impresso), v. 25, p. 75-105, 2013a.
- _____. “Human evolution and transitions in individuality”. *Contrastes*, v. 18, p. 203-220, 2013b.
- _____. “Natureza e Cultura”. *Ciência & Ambiente*, v. 48, p. 7-21, 2014a.
- _____. “Linguagem e a evolução da mente humana: a perspectiva de um neurobiólogo”. *Cérebro, Evolução e Linguagem*. 1ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 23-61, 2014b.
- _____. “Conflito e cooperação na evolução humana”. *Ciência & Ambiente*, v. 48, p. 289-301, 2014c.
- ABRANTES, P. C.; ALMEIDA, F. P. L. “Evolução Humana: a teoria da dupla herança”. In: ABRANTES, P.C. (Org.). *Filosofia da Biologia*. 1ed. Porto Alegre: ARTMED, 2011, v. 1, p. 261-295.
- ALMEIDA, F. P. L; ABRANTES, P. “A teoria da dupla herança e a evolução da moralidade”. *Principia* (Florianópolis. Online), v. 16, p. 1-32, 2012.
- CARROLL, R.L. “Towards a new evolutionary synthesis”. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 27–32, 2000.
- CARROLL, S.B. “EvoDevo and an expanding evolutionary synthesis: A genetic theory of morphological evolution”. *Cell* 134: 25–36, 2008.
- DARWIN, C. R. *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.R. *The expression of the emotions in man and animals*. London, John Murray, 1872.
- DAWKINS, R. *The Selfish Gene*. Oxford University Press, 1976.
- FISHER, R.A. “The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance”. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 52: 399–433, 1918.
- FISHER, R.A. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Clarendon Press, 1930.
- GOULD, S.J. *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2002.
- HALDANE, J.B.S. “The time of action of genes, and its bearing on some evolutionary problems”. *American Naturalist* 66: 5–24, 1932.
- HUXLEY, J.S. *Evolution: The Modern Synthesis*. London: Allen & Unwin, 1942.
- IRONS, W. “Genes and cultures – Boyd and Richerson: the intertwined roles of genes and culture in human evolution”. *Zygon* 42: 347–54. 2009.
- JABLONKA, E., LAMB, M.J. *Epigenetic Inheritance and Evolution*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- JABLONKA, E., LAMB, M.J. *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.
- KUTSCHERA, U., NIKLAS, K.J. “The modern theory of biological evolution: An expanded synthesis”. *Naturwissenschaften* 91: 255–276, 2004.
- LALAND, K. “Evolution unleashed: Is evolutionary science due for a major overhaul – or is talk of ‘revolution’ misguided?”. *Aeon Magazine*. Disponível em: <https://aeon.co/essays/science-in-flux-is-a-revolution-brewing-in-evolutionary-theory>: acessado em 17 de Janeiro de 2018.
- LEWONTIN, R.C. *The triple helix: Gene, organism, and environment*. MA: Harvard University Press, 2001.
- LODISH, H.F. “Through the Glass Lightly”. *Science* Vol. 267, Issue 5204, pp. 1609, 1995.
- LOSOS, J.B. *The Princeton Guide to Evolution*. Princeton University Press. 871p., 2017.
- MAYR, E. *Systematics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press, 1942.

- MAYR, E. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Harvard University Press, 1982.
- MÜLLER, G.B. “EvoDevo: Extending the evolutionary synthesis”. *Nature Reviews Genetics* 8: 943–949, 2007.
- ODLING-SMEE, F.J., LALAND, K.N., FELDMAN, M.W. *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.
- PENNISI, E. “Modernizing the Modern Synthesis”. *Science* 321: 196–197, 2008.
- PIGLIUCCI, M. “Do we need an extended evolutionary synthesis?”. *Evolution* 61: 2743–2749, 2007.
- PIGLIUCCI M.; MÜLLER, G.B. (Eds). *Evolution: The Extended Synthesis*. MIT Press, Massachusetts, 2010.
- RADICK, G. “Teach students the biology of their time”. *Nature*, 533 (7603), pp. 293-293, 2016.
- RICHERSON, P.; BOYD, R. *Not by genes alone: how culture transformed human evolution*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005.
- ROSE, M. R., OAKLEY, T. H. “The new biology: beyond the modern synthesis”. *Biology Direct*, 230, 2007.
- SCHLICHTING, C.D., PIGLIUCCI, M. *Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective*. Sunderland, MA: Sinauer, 1998.
- SIMPSON, G.G. *Tempo and Mode in Evolution*. New York: Columbia University Press, 1944.
- SOLTIS, J.; BOYD, R. T.; RICHERSON, P. Can group-functional behaviors evolve by cultural group selection? *Current Anthropology* 363: 473–94. 1995.
- STEBBINS, G.L. *Variation and Evolution in Plants*. New York: Columbia University Press, 1950.
- STERELNY, K. *The representational theory of mind*. Oxford: Basil Blackwell, 1990.
- WADDINGTON, C.H. Evolutionary systems: Animal and human. *Nature* 183: 1634–1638, 1959.
- WEST-EBERHARD, M.J. *Developmental Plasticity and Evolution*. New York: Oxford University Press, 2003.
- WHITFIELD, J. “Postmodern evolution?”. *Nature* 455: 281–284, 2008.
- WRIGHT, S. “The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution”. In *Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics*. Vol. 1: 356–366, 1932.