

Gláucia Silva¹

**SELEÇÃO NATURAL E BIOSSEMIÓTICA:
BIOLOGIA E ANTROPOLOGIA SE RENOVAM**

***NATURAL SELECTION AND BIOSEMIOTICS:
BIOLOGY AND ANTHROPOLOGY ARE
RENEWED***

¹ Professora de antropologia no PPGMA (UERJ) e no PPGCS (UFRRJ), glaucia.o.silva@gmail.com

RESUMO

As contribuições de Richard Lewontin e de Stephan Jay Gould bem como a recente recuperação da semiótica de Jakob von Uexküll, por Kalevi Kull e outros biólogos, propiciam a reformulação do princípio da seleção natural como paradigma unificador da teoria evolutiva, enfatizando os aspectos relacionais e significativos que enredam os seres vivos. Esta abordagem, que vem sendo chamada de biossemiótica, sustenta que os sistemas perceptivos dos seres vivos lhes garantem a capacidade de representação do mundo, devendo ser compreendidos como sujeitos de sua existência, contrariando a visão segundo a qual os organismos seriam apenas produto da seleção de mutações ocorridas ao acaso. O presente trabalho oferece uma reflexão sobre o alcance explicativo da teoria da seleção natural, trazendo as contribuições dos cientistas mencionados.

PALAVRAS-CHAVE: Antropologia da Ciência; Antropologia e Biologia; Evolução; Seleção Natural; Natureza e Cultura.

ABSTRACT

The contributions of Richard Lewontin and Stephan Jay Gould as well as the recent recovery of Jakob von Uexküll semiotics, by Kalevi Kull and other biologists, propitiate the reformulation of the principle of natural selection as a unifying paradigm of evolutionary theory, emphasizing the relational and significant aspects that entangle living beings. This approach, which has been called biosemiotics, maintains that the perceptual systems of living beings guarantee them the ability to represent the world. It maintains that living beings should be understood as subjects of their existence, contradicting the view that organisms would only be the product of random mutations. The present work offers a reflection on the explanatory scope of the theory of natural selection, bringing the contributions of the mentioned scientists.

KEYWORDS: Anthropology of Science; Anthropology and Biology; Evolution; Natural Selection; Nature and Culture.

INTRODUÇÃO

O neodarwinismo é uma teoria que quer explicar a diversidade viva, isto é, como uma espécie origina outra. Ela supõe que alguns indivíduos possam nascer com uma característica que lhes confira maior capacidade adaptativa e que assim deixarão maior número de descendentes. Presume-se que as diferenças existentes entre indivíduos de uma população sejam produto de mudanças genéticas aleatórias. Essas características hereditárias vantajosas se espalharão nas futuras gerações, tornando a espécie melhor adaptada, como um todo. Se fossem prejudiciais, seus portadores não teriam sucesso nem em sobreviver, nem em aumentar a descendência. Assim, a teoria de Darwin está assentada sobre a premissa segundo a qual mutações acontecem aleatoriamente e o meio ambiente selecionará as que forem adaptativas. A base da seleção é a diversidade existente entre indivíduos de uma mesma espécie. O presente trabalho tem duas preocupações centrais. A primeira é recuperar as colocações críticas de Stephen Jay Gould (1992, 1997, 2007) e Richard Lewontin (1978, 1998, 2001) sobre como as mutações genéticas operariam e traz as perspectivas teóricas abertas pelas pesquisas sobre mutações epigenéticas, discutindo a repercussão que estas ensejam.

Gould, do ponto de vista da paleontologia, formulou, com Niles Eldredge, a teoria do equilíbrio pontuado (GOULD, 2007). Ele discorda da ideia de que as mutações aconteçam de forma gradual, somando-se num ritmo lento e constante, alterando a espécie paulatinamente. Argumenta que os registros fósseis apontam para a existência de curtos períodos de grandes mudanças intercalados em longo tempo de estase, ou seja, de equilíbrio, intervalo no qual poucas modificações podem ser sustentadas por achados da paleontologia. Lewontin critica a própria ideia de adaptação (LEWONTIN, 1978) e afirma que grande parte das mutações consideradas aleatórias ocorre de forma associada com a temperatura, respondendo, portanto, à variação ambiental. Enfatiza, como se verá abaixo, o papel da contingência na ontogênese, além de dar contribuição para o conceito de nicho.

Na década de 1980, várias experiências mostraram, pelo menos, duas formas de mutação que eram até então desconhecidas dos cientistas. São as mutações genéticas induzidas pelo meio e as mudanças epigenéticas, que também são induzidas pelo meio, mas não constituem, como as primeiras, uma alteração estrutural nos genes, apenas sua ativação ou seu desligamento. É importante assinalar que as mutações genéticas, isto é, aquelas que alteram a estrutura do gene, são irreversíveis. As mudanças epigenéticas são reversíveis e, por serem induzidas pelo meio, a constatação de sua existência deixa em xeque, segundo Jablonka e Lamb (2010), o dogma central¹ da biologia, cunhado em meados do século passado. O dogma afirma a existência de um fluxo unidirecional que parte do DNA para formar uma proteína. Em outras palavras, há tradução (o DNA forma proteína), mas não há “retro tradução” (uma proteína não forma o DNA). Essa fórmula, que

¹ Dogma central é outro termo pelo qual os biólogos designam a barreira de Weissman (JABLONKA & LAMB, 2010).

estrutura o dogma central, deixa claro que, na visão dos biólogos, as novas características surgem exclusivamente por mutações aleatórias, nada tendo a ver com o ambiente. Embora a “retro tradução” nunca tenha sido observada experimentalmente, nem mesmo quando foram descritas mudanças dirigidas, o que parece deixar, nesse sentido, o dogma a salvo, as mudanças epigenéticas podem ser a via da transmissão à descendência de caracteres adquiridos, ou seja, a porta que se abre a uma espécie de lamarckismo atualizado (JABLONKA & LAMB, 2010).

O biólogo Kalevi Kull (2013) propõe um paradigma alternativo ao seletivista vigente, que permanece alicerçado no determinismo genético. O determinismo genético hegemônico no neodarwinismo explica os fenômenos naturais basicamente como decorrência da ação dos genes, num movimento análogo ao se reconhecer que, no mundo da informática, os programas utilizados são obviamente os responsáveis pelo que eles fazem, já que foram idealizados para aqueles fins. Mas essa metáfora, para os críticos da visão determinista, não explica o mundo vivo. Assiste-se hoje, portanto, ao surgimento da vertente autointitulada biossemiótica (KULL, 2013), que recupera e atualiza a biologia de Jakob von Uexküll a partir das possibilidades teóricas abertas pela observação de mudanças epigenéticas, o que constitui a segunda preocupação do presente trabalho.

O legado de Jakob Uexküll também vem sendo recuperado, entretanto, por cientistas afiliados à Biologia Teorética, linha de pesquisa que busca um entendimento matematizado da natureza e mantém como inspiração a informática. Para esses cientistas, os sinais referidos por Uexküll são aproximados da linguagem computacional. Já os pesquisadores da biossemiótica, como se verá a seguir, estão interessados em recuperar os processos através dos quais coisas e seres passam a ser um sinal para o sistema perceptivo de outros seres vivos. Ao longo do século XX, o determinismo genético sustentou ideia da segregação do “meio ambiente”, como uma instância universal e abstrata, em relação aos seres que sofrem a seleção natural – visão característica do neodarwinismo. A biossemiótica de Kalevi Kull recupera uma noção mais precisa do que seja “meio” ou “ambiente” ou ainda “meio ambiente”, atentando para o conceito de “mundo próprio” (*Umwelt*), desenvolvido por Uexküll, e apresentado no livro *Dos animais e dos homens. Digressões pelos seus próprios mundos. Doutrina e Significado* (2008); a primeira edição da parte inicial do livro – *Dos animais e dos homens. Digressões pelos seus próprios mundos* – é de 1934. Em 1940 foi publicada pela primeira vez a segunda parte – *Doutrina e Significado*. A ideia da existência de mundos particulares a cada espécie implica a observação e a pesquisa dos aspectos relacionais nos quais todo ser vivo está enredado. Ela enfatiza, retirando o monopólio da capacidade simbólica imotivada (e característica da espécie humana), que a experimentação propiciada pelos sistemas perceptivos dos seres vivos, enseja um tipo de representação do mundo por parte destes que, assim, devem ser compreendidos como sujeitos de sua existência e não uma simples decorrência de determinações genéticas e das mutações ao acaso, consideradas até então como fruto do erro de replicação do DNA.

O neodarwinismo ainda não formulou a contento como a diversidade viva surge a partir de erros na cópia do DNA, sistema que possui vários mecanismos para impedir falhas. Hoje, essa perspectiva que sustenta que a evolução biológica se dá primordialmente através da aleatoriedade das mudanças, denominada Mutagênese, que é tanto o fenômeno quanto o estudo do mesmo, vem buscando enriquecer esse viés randômico do evolucionismo (SMITH & RUPPEL, 2011). Entretanto, apoiar a teoria sobre a origem da diversidade viva basicamente na existência de mutações aleatórias é uma visão que pode ser alterada com o reconhecimento da importância das mudanças epigenéticas (não aleatórias, induzidas pelo meio e reversíveis) para o processo evolutivo.

Conforme discutido anteriormente (SILVA & DUARTE, 2017), a ideia de que as mutações aleatórias sejam o cerne da evolução se adequa à existência epistemológica de um Grande Divisor, separando natureza e cultura (LATOUR, 1994). As mutações genéticas aleatórias são propriedade de todo e qualquer ser vivo, entretanto, segundo um senso comum, partilhado muitas vezes por cientistas, os seres humanos podem se colocar a salvo deste processo seletivo, atuando no sentido de superarem as dificuldades impostas pelo meio ambiente pela via da cultura. Para que a seleção natural seja considerada uma regra universal, as sociedades humanas devem ser explicadas por esse mesmo princípio. Porém, a sociobiologia, visão que tentou estender a explicação fundamentada na ideia de seleção natural para a sociedade, não obteve sucesso (SILVA, 1993, 2006). O determinismo genético pode explicar a sociedade das formigas, mas não consegue explicar o funcionamento das sociedades humanas.

Embora o darwinismo do século XIX tenha contrariado a formulação religiosa da criação especial, ele deixou pouco explicado o surgimento da espécie humana, pois, para Darwin, haveria uma Cisão entre (alguns) homens e o restante do mundo vivo. Segundo o naturalista, apenas os povos aos quais designou “selvagens” estariam submetidos aos constrangimentos proporcionados pela seleção natural, ficando os povos civilizados a salvo, por serem solidários e moralmente superiores (DARWIN, 2004b,;54). O neodarwinismo, com todo o refinamento que proporcionou às ideias iniciais do grande mestre vitoriano, manteve essa inspiração dicotômica segundo a qual a natureza pode ser compreendida como constituída por organismos passivos, que sofrem mutações ao acaso, sucumbindo ou procriando, mas a sociedade humana deve ser vista como um dispositivo adaptativo para superar – consciente e intencionalmente – o processo seletivo imposto pelo meio. Em outros termos, somente os humanos possuiriam capacidade de agência intencional e de atribuição de significados.

O processo histórico de constituição do campo da ciência biológica (ou seja, da biologia como ciência e não mais como história natural), com a criação do princípio universal de seleção natural, que regeria toda a natureza viva, ocorreu concomitantemente ao surgimento da antropologia social como disciplina científica, graças à conversão da noção de cultura em conceito científico, estabelecida por

Edward Burnett Tylor (ver TYLOR, 2010), num grande reforço ao Grande Divisor. “Cultura” e “seleção natural” são os dois objetos de estudo de duas disciplinas que surgiram, ao mesmo tempo, na Inglaterra vitoriana, possuindo como denominador comum a ideia de evolução². Darwin, ofereceu a explicação universalizante de como operaria a natureza, propiciando o surgimento de uma ciência para dar conta do objeto de estudo da antiga história natural. Naquela mesma época, mas sem qualquer ligação com a obra do naturalista, E. B. Tylor (2010) propôs uma explicação científica alternativa àquela até então aceita por *savants*, juristas e filósofos para explicar a diversidade entre os homens. Ele postulou a existência de um mecanismo evolutivo que dotaria todas as sociedades humanas, mesmo aquelas consideradas “bárbaras” ou “selvagens”, da capacidade de atingirem a “civilização”. Essa conformação dicotômica de princípios – um biológico, para a natureza, e outro, o das regras culturais, para a sociedade – perdurou ao longo do século XX e vem se mantendo no atual, já que a simples aplicação do paradigma de um campo ao outro não resolve o problema.

Aqui, minha intenção é refletir sobre o alcance explicativo da seleção natural, segundo os próprios biólogos, trazendo as contribuições de cientistas, como (1) Stephen Jay Gould e (2) Richard Lewontin, que apresentaram alternativas teóricas internas à visão neodarwinista; e (3) as da biossemiótica que, inspirada no legado de Jakob Uexküll, pode constituir alternativa ao neodarwinismo. A ideia central é que se o entendimento científico sobre a natureza puder atribuir a seres não humanos a capacidade de trocarem sinais, as diferenças, a princípio incommensuráveis, entre humanos e não-humanos podem ser revistas. A capacidade simbólica, que é característica da espécie humana, pode ser considerada como uma variedade da capacidade mais ampla de atribuir significado, de representar o mundo. Assim, a proposta da biossemiótica vem trazer uma possibilidade de reconciliação entre natureza e cultura.

1 – Contribuição da paleontologia: sobre o ritmo do tempo

O paleontólogo Stephen Jay Gould argumentou em seus inúmeros livros contra a ideia darwinista de um processo evolutivo lento, contínuo e gradual. Sustentou que a evidência paleontológica da “extinção em massa”, ou seja, de extinção de parcelas significativas de espécies vivas, em curto intervalo de tempo, deveria ter a devida relevância no seio da teoria evolutiva. Conforme já foi dito, juntamente com Niles Eldredge (GOULD, 2007) propôs, ainda no início da década de 1970, a ideia de que o mundo vivo passa por períodos de estase (ou equilíbrio), em que os organismos mudam pouco ou nada, e por momentos de muitas mutações, o que alteraria de forma mais drástica os organismos e suas maneiras de viver, conformando os “pontos” do reticulado evolutivo. Seriam mudanças ocor-

² O antropólogo Claude Lévi-Strauss explicou magistralmente os dois evolucionismos (o social e o neodarwinista) em *Raça e História* (1976:328-366).

rendo na totalidade do mundo vivo acompanhadas de alterações das condições geofísicas (como a climática). Gould afirma (GOULD, 2007:26-30) que a teoria do equilíbrio pontuado não é contrária à da seleção natural como um todo, e sim apenas ao aspecto relativo à insistência de Darwin que a natureza não dá saltos. Para Gould, a natureza pode se modificar com grande velocidade em determinados momentos, embora o padrão seja a estase, o equilíbrio, aventando que a espécie humana seja um exemplo para sua hipótese.

Gould (2007) se pergunta, a partir dos dados da paleontologia aceitos na década de 1990³, por que teriam os australopitecos passado um milhão de anos em estabilidade e, repentinamente, num intervalo de 250 mil anos, conforme mostraram evidências fósseis disponíveis à época, surgem vários tipos de homínídeos neste período, que é, relativamente, curto – um quarto do tempo total durante o qual existiram os ancestrais. A ideia do equilíbrio pontuado permite uma visão sobre a formação do cérebro humano, diferente daquela esboçada por Darwin (2014b): por que o cérebro ancestral ficou aparentemente estável durante 1 milhão de anos e, num espaço de tempo de 250 mil, muda tanto?

O biólogo e geneticista Richard Lewontin (LEWONTIN, 1998:44-45), cujas ideias traremos adiante, também parece não considerar que o darwinismo explique com sucesso a origem do cérebro humano, órgão que, para ele, ilustra sua proposição de um organismo ser mais do que a “interação” entre genes e meio ambiente. Afirma que as células nervosas que compõem o cérebro se ligam entre si formando conexões que se tornam permanentes durante um tempo. Algumas delas permanecem, outras se deterioram e desaparecem. Tais conexões são formadas aleatoriamente durante o desenvolvimento embrionário do cérebro, isto é, não são nem pré-determinadas geneticamente nem determinadas pela disponibilidade ambiental. Ele conclui então que as diferenças cognitivas entre dois cérebros não são nem genéticas nem ambientais apenas. Se o cérebro é um órgão em que a organização randômica de suas células na ontogênese é fundamental, isto pode ter algum valor explicativo para a sua evolução filogenética. A ideia de órgão constituído pela “pressão seletiva”, gradualmente, confrontada com essas evidências acima expostas, mostra-se simplista⁴.

Tanto Gould quanto Lewontin, cada um a partir de sua subdisciplina, têm importantes contribuições ao neodarwinismo, e o fato de esta teoria não ter ainda conseguido explicar completamente o funcionamento do cérebro humano, evolutivamente falando, é um importante indício de que ela precisa ser aprimorada. Ambos colocam em causa a questão da mutação genética. Gould fala a partir do registro fóssil, tendo por referência um tempo geológico; está preocupado com uma escala de longo alcance. Lewontin (2001) está voltado para o organismo, como um

³ Em Da Glória (2018), o leitor encontra uma rica análise sobre as teorias aceitas atualmente em termos de evolução humana; para uma análise sobre as visões a respeito do papel da cultura no processo evolutivo, do ponto de vista da filosofia da ciência, ver Abrantes (2020).

⁴ Jablonka e Lamb (2010) buscam desenvolver o que Darwin já havia postulado, isto é, que esse órgão se formou sob pressão seletiva da própria cultura (DARWIN, 2004b). Ideia também endossada e bem defendida pelo antropólogo Clifford Geertz (1978).

produto que inclui contingência, sua bagagem genética e o meio ambiente. E uma terceira aproximação comparativa entre esses autores é que, enquanto cientistas, não só fazem ciência, mas também refletem sobre ela. Lewontin quer estender uma ponte entre o laboratório e o mundo “lá fora”. Gould quer mostrar que os fósseis não falam por si. Assim, para que uma teoria seja verificada é preciso um método que propicie a resposta às perguntas colocadas. Com relação ao equilíbrio pontuado, é necessário um método que permita a percepção dos ritmos da história:

Obviamente, quando observamos a velocidade geral das mudanças evolutivas, a estase constitui apenas um dos lados da moeda – de outra forma, não haveria evolução alguma! A outra face (as “pontuações” ou intercorrências no equilíbrio pontuado) propõe haver uma concentração de mudanças em episódios relativamente curtos – surtos de reorganização num mundo de sistemas geralmente estáveis. Se ingressarmos nesse mundo em um dado momento qualquer, a probabilidade esmagadora é não encontrarmos nada acontecendo em termos de mudanças. Mas se examinarmos a totalidade, ao longo de milhões de anos, esses episódios de pontuação, ainda que ocupem apenas 1 ou 2% do tempo, dão o tom das alterações históricas. A escala é tudo na história e na geologia. (GOULD, 1997:182)

No século XIX a explicação catastrofista segundo a qual poderia haver grandes extinções graças a catástrofes naturais estava em conformidade com a visão bíblica. Contrariando o catastrofismo, o geólogo Charles Lyell sustentou, com base em escavações, a ocorrência de uma lenta transformação do planeta, revelada pela sucessão de camadas geológicas, ideia que instigou Darwin a desenvolver a teoria da seleção natural. Gould critica os paleontólogos por terem passado a minimizar as evidências desses maciços extermínios, ajustando-as a uma leitura que se aproximava mais do “devagar e sempre”, preferido por Darwin; isso porque os paleontólogos começaram a interpretar os períodos de extinção em massa como mais longos e com efeitos menos intensos. Ou seja, o desaparecimento de muitas espécies em determinadas épocas passou “a ser visto como intensificações de processos comuns, e não mais como imposições de catástrofes raras, mas verdadeiras” (GOULD, 1997:190).

Conforme assinala Gould, reinterpretar, diferentemente de Darwin e seus seguidores, a história e a mudança como dotadas de ritmos diferentes, não uniformes, não é tarefa óbvia, devido ao registro geológico ser bastante imperfeito e a fossilização não ser um processo simples de acontecer. Segundo Gould, formas de desaparecimento súbita podem dar a impressão de terem sido lentas, se os fósseis não forem procurados meticulosamente. Argumentando que as teorias não são alteradas necessariamente graças à aparição de um fato novo, já que muitas vezes elas permitem que se enxerguem novas evidências, mas impedem a percepção daquelas que lhes são contrárias, Gould afirmou que os paleontólogos mantinham um método de escavação em conformidade com a hipótese gradualista. Para se encontrar um fato novo era necessário alterar o modo de escavar.

Algumas espécies são muito comuns e facilmente preservadas como fósseis, encontradas a cada estrato; outras, porém, são mais raras, sendo, por isso,

encontradas mais eventualmente nas escavações. Mas se ambas as espécies – a comum e a rara – tiverem sofrido uma extinção súbita, elas estarão dispostas, guardando a diferença de número, tanto nos estratos mais antigos e como nos mais recentes, pois foram dizimadas ao mesmo tempo. Entretanto, a disposição das espécies raras pode sugerir um desaparecimento gradual da mesma, caso a escavação seja feita em camadas muito distantes entre si. Por isso, um grupo de paleontólogos decidiu fazer escavações minuciosas – a cada centímetro! – e encontrou, em estratos mais recentes, exemplares fósseis de espécies julgadas extintas em períodos mais antigos, mudando a cronologia da sua extinção.

Gould explica:

Podemos afirmar que quanto mais rara a espécie, maior a probabilidade de o seu último fóssil aparecer nos sedimentos mais antigos, ainda que a espécie tenha sobrevivido até a fronteira superior. Mesmo que todas as espécies tenham morrido ao mesmo tempo, ainda assim encontraríamos uma sequência graduada e aparentemente gradual de desaparecimentos – as espécies mais raras sucumbindo antes e as formas mais comuns persistindo como fósseis até o extremo da fronteira superior. Esse fenômeno – um exemplo clássico do velho princípio de que as coisas raramente são o que parecem ser (GOULD, 1997:192) e as aparências literais frequentemente obscurecem a realidade – recebeu até um nome: efeito Signor-Lipps, em homenagem a dois colegas paleontólogos, Phil Signor e Jere Lipps, os primeiros a resolver os detalhes matemáticos de como um escassear literal pode, na verdade, representar um desaparecimento súbito e simultâneo (GOULD, 1997:192-193). (...). Se eu desmontar o palheiro, palha por palha, não poderei senão recuperar a agulha. (GOULD, 1997:195)

Foi a escavação centímetro-a-centímetro que evidenciou a extinção provocada pela colisão de um asteroide com a Terra na transição cretáceo-terciário e que extinguiu com cerca de 90% dos invertebrados, como os amonitas, e de vertebrados, como os dinossauros, de uma só vez, embora ambas espécies fossem anteriormente citadas como exemplos de extinção gradual. Viu-se que havia uma constância desses fósseis por todas as camadas escavadas sem que uma diminuição no número dos achados comprovasse uma diminuição de uma das espécies ao longo do tempo. Assim, para Gould, se não fosse o asteroide se chocar com a Terra, os dinossauros poderiam estar por aqui até hoje.

Outra questão levantada por esse brilhante paleontólogo foi aquela ilustrada pela experiência de Kollar e Fisher, a qual Gould se refere pelo epíteto “os dentes da galinha”. Como é sabido, as aves, diferentemente da maior parte dos outros vertebrados, não têm dentes. Entretanto, seu ancestral – *Archaeopteryx* – tinha. É possível supor, se formos neodarwinistas, que houve um lento processo de evolução ao longo do qual ele tenha perdido os dentes por mutações aleatórias e, concomitantemente, ganhado, pelo mesmo mecanismo, um estômago mecânico que substitui a dentição. Independentemente do que aconteceu para que o *Archaeopteryx* possa ter originado as aves, a experiência em laboratório dos dentes da galinha mostra que há uma “enorme reserva potencial para a mudança mor-

fológica rápida, baseada em pequenas mudanças genéticas” (GOULD, 1992:186)⁵. Isso porque algumas mutações na expressão genética podem causar importantes efeitos descontínuos na morfologia, uma vez que os genes não estão vinculados a segmentos independentes do corpo, cada qual responsável pela formação de um pequeno item. Os sistemas genéticos são organizados hierarquicamente e há controladores e “chaves gerais” que, muitas vezes, acionam blocos de genes, como mostram testes com drosófilas (GOULD, 1992:187-200).

Os dentes são estruturas formadas basicamente por uma camada de esmalte, a dentina e uma polpa, que se originam a partir de diferentes tecidos do embrião. A camada de esmalte, parte mais externa do dente, é originada pelo tecido epitelial. Já a dentina, que é a parte localizada internamente ao esmalte, é constituída pelo mesênquima. Entretanto, este não pode formar a dentina a não ser que interaja, por contato, com o epitélio, que funciona como um tecido indutor necessário para que o mesênquima seja capaz de formar a dentina. Por outro lado, o epitélio só poderá originar o esmalte se estiver em contato com a dentina formada pelo mesênquima.

Na experiência feita por E. J. Kollar e C. Fisher, houve justamente a reunião do mesênquima, extraído do local de um embrião de um camundongo em que futuramente formar-se-ia o dente molar, com o epitélio extraído de região análoga de um embrião de pinto. Os dois tecidos em contato cultivados em um ambiente biologicamente propício originaram um dente. Isso quer dizer que embora sem dentes, o epitélio do pinto guarda a condição de induzir a formação de dentina se estiver em contato com um mesênquima adequado. O mesênquima do pinto perdeu esta função. O dente normal originado nessa experiência em nada se pareceu com o do camundongo, levando à hipótese que se as galinhas tivessem dentes, muito provavelmente, seria semelhante ao exemplar surgido na experimentação.

Gould descreve outras experiências, como a realizada pelo embriologista francês Armand Hampé que, no final da década de 1950, já tinha evidenciado a permanência silenciada de informações genéticas para características fenotípicas normalmente manifestas em ancestrais, mas, fenotipicamente ausentes entre os descendentes modernos. No *Archaeopteryx*, tíbia e perônio, ossos localizados entre o joelho e o tornozelo, tinham o mesmo comprimento. Nas aves modernas, o perônio é extremamente reduzido e não tem contato com os ossos do tornozelo e a tíbia é longa tendo se fundido com os ossos do tornozelo. Hampé obteve, manipulando tecidos embrionários, tal como fizeram mais tarde Kollar e Fisher, o desenvolvimento de pernas com a formação independente dos ossos tíbia e perônio, como ocorre no *Archaeopteryx*.

A expressão de características fenotípicas que ficam durante muito tempo sem se expressar ao longo das gerações é chamada de atavismo. Essas características foram assim denominadas por terem sido inicialmente entendidas

⁵ Talvez o termo “epigenéticas” fosse mais adequado.

como uma regressão a um estado evolutivo anterior. O surgimento de um dente de galinha exigiu um grande e refinado aparato de laboratório. Mas eventualmente o “fenômeno atávico” pode ser flagrado espontaneamente como é o caso de cavalos que nascem com dedos; seus ancestrais, como evidenciam os fósseis, possuíam 3 dedos nas patas traseiras e 4 nas dianteiras, e os cavalos modernos, que são normalmente dotados de 1 dedo, podem apresentar vestígios dos seus antigos segundo e quarto dedos, sob a forma de curtas talas de osso, localizadas acima dos cascos. O dedo a mais é a réplica do terceiro dedo funcional. Gould não interpreta esse acontecimento como atavismo, no sentido de ser uma regressão. Gould considera que os denominados atavismos refletem a enorme capacidade latente dos sistemas genéticos, e não um ressurgimento do passado do organismo no presente. O autor entende o atavismo como a prova de que grandes diferenças fenotípicas podem ser decorrentes de pequenas mudanças genéticas, como se viu no caso do dente e das patas das aves.

Gould considerava que Darwin era obcecado pelas “variações”, embora desconhecesse as causas. Também hoje parece continuar havendo grande desconhecimento sobre elas. Gould lança ao seu leitor uma pergunta sarcástica: “Afinal de contas, como sempre existirão suficientes variações para a seleção natural utilizar, para que se preocupar com sua natureza e causas?” (GOULD, 1992:186). Talvez o desenvolvimento das pesquisas em epigenética, como se verá a seguir, venha refinar ou mudar a interpretação dada a essas experiências que foram referidas, mas, de todo modo, Gould reúne em sua análise evidências da mais alta importância para uma percepção menos mecanicista e atomista da transformação das espécies.

Duas observações, pelo menos, levam Gould a questionar aspectos do neodarwinismo. A primeira é o fato de não existir a necessária correlação entre um gene e uma característica fenotípica, como esteve implícito na teoria de Darwin até o advento da genômica. A segunda é que os genes funcionam de maneira hierarquizada entre eles. O desligamento de um gene pode acarretar mudanças de diversas ordens no fenótipo. Como as experiências com células-tronco deixam claro hoje, é o desenvolvimento embrionário que se apresenta como o alvo de mudanças que permitirão uma espécie se alterar como um todo. Tais ideias reforçam a teoria proposta por Gould, apoiado em achados da paleontologia, segundo a qual alterações ambientais podem intensificar as mutações durante certo período, seguido de outro em que os organismos permanecem estáveis.

2 – A contribuição da genética não determinista: a agência nos processos adaptativos

A grande crítica que Lewontin fez, ainda no final da década de 1970, ao neodarwinismo, foi com relação à ideia de adaptação compartilhada pelos biólogos adeptos do princípio da seleção natural. A concepção criticada é aquela que

vigorou entre neodarwinistas segundo a qual a adaptação ocorreria seguindo um modelo em que o meio seria uma fechadura e as mutações que ajudassem a formar a chave seriam selecionadas. Tal visão implica numa aceitação da existência prévia de um nicho para cada ser vivo. Por exemplo, faz parte do nicho de um inseto a flor que produz um néctar do qual ele se alimenta. A flor estaria formada anteriormente à modificação do organismo do inseto? Ou o inseto existia antes da flor? A flor é parte importante do “meio ambiente” do inseto e vice e versa. Há uma coevolução de todo o mundo vivo e não adaptações de cada espécie a um nicho determinado. Lewontin argumenta:

A afirmação de que o ambiente de um organismo é casualmente independente dele e de que as alterações no ambiente são autônomas e independentes das alterações na própria espécie está claramente errada. Embora todas as metáforas sejam perigosas, o processo real da evolução parece ser mais bem captado pela ideia de processo de construção. (LEWONTIN, 1998:53)

Segundo Lewontin, “para sabermos qual é o ambiente de um organismo devemos perguntar ao organismo” (LEWONTIN, 1998:59) o que, a meu ver, implica em uma volta ao campo dos biólogos, para verificarem quais são os aspectos desse “meio ambiente abstrato” envolvidos nos processos concretos de coevolução e em que medida ele se altera. O biólogo Kevin Laland e colegas – Odling-Smee e Sterelny, por exemplo – vêm se dedicando à Teoria da Construção de Nicho, dando continuidade ao trabalho de Lewontin. Em artigo relativamente recente, Laland e O’Brien (2010) sustentam uma proposta, que se identifica como evolutiva (neodarwinista), mas que atribui grande importância à capacidade de “modificar a seleção natural” demonstrada por espécies que atuam como codiretoras, juntamente a outras espécies, da sua própria evolução. Na rede de processos coevolutivos – os animais fazendo ninhos e teias, os vegetais mudando ciclos de nutrientes, os fungos decompondo matéria orgânica e bactérias fixando nutrientes – os organismos se modificam mutuamente (LALAND e O’BIEN, 2010:1).

Lewontin, para criticar a ideia –hegemônica entre os neodarwinistas – de adaptação, lança mão da metáfora platônica da caverna: “quaisquer que sejam os processos autônomos do mundo exterior, o organismo não pode percebê-los. A sua vida é determinada pelas sombras na parede, passadas por meio transformador criado por ele próprio” (LEWONTIN, 1998:73). Assim como Platão considerou que haveria dois mundos distintos, um desprovido de conhecimento e outro onde a verdade estava iluminada, os cientistas retiram “a luz” dos seres vivos, não lhes conferindo capacidade de agência. A esses seres não-humanos é atribuída a propriedade de sofrerem mutação ao acaso e a consequente ação da seleção natural. Lewontin argumenta que o retrato da evolução que postula um mundo externo, autônomo, feito de nichos em que os organismos devem se inserir por meio da adaptação não logra captar o que é mais característico da história da vida. E acrescenta que “não há nenhuma evidência de que os organismos vivos tenham se tornado, ao longo de sua evolução, mais bem adaptados ao mundo” (LEWONTIN, 1998:63).

Assim como os cientistas observam em laboratório que há possibilidades de expressões genéticas que dependem do desenvolvimento do organismo, outros cientistas, na prática de campo, observam que seres vivos não-humanos fazem suas condições de existência, e as alteram, em algumas das vezes, deliberadamente, por exemplo, escolhendo lugar para a construção de ninhos e teias e eventualmente mudando-os de lugar.

Para Lewontin, a falta de integração entre os estudos sobre evolução, como produto das variações individuais, e aqueles sobre ontogênese é prejudicial para um melhor entendimento da complexidade viva. São dois campos da biologia que se constituíram de forma apartada (HARAWAY, 2004) e que agora precisam de se aproximar se os cientistas quiserem a construção de um novo paradigma que explique de forma satisfatória a diversidade dos seres e a ontogênese. Um exemplo claro de que os genes não agem sozinhos, precisando de sinais do ambiente externo é o fato de sementes que permanecem em dormência em solo seco até que uma chuva ocasione o desenvolvimento do broto. Também as experiências, descritas parágrafos acima, que mostram que as galinhas têm a capacidade genética de formarem esmalte dentário, embora não tenham a capacidade de formar dentes, deixam claro a indução entre tecidos⁶. Não basta ter uma conformação genética para que ela se expresse. É necessária a existência do que, na gramática de Uexküll, são chamados sinais.

Embora afirmando a indissociabilidade entre organismo e meio, para Lewontin, não são os genes e nem o ambiente e nem mesmo a interação entre eles que explicariam a ontogênese, pois há os ruídos que fazem a formação de um organismo um processo específico: são contingências que fazem com que a história de cada organismo individual seja única, evidenciando que a informação genética não explica todas as características de um ser vivo. No momento em que uma célula se divide em duas, uma das filhas recebe uma quantidade de citoplasma ligeiramente diferente da outra. Esse ruído pode levar a diferenças entre os organismos que serão originados embora com carga genética igual:

A variação da quantidade de cerdas do lado direito e do lado esquerdo no corpo de drosófilas não é resultante nem da variação genética nem da ambiental. É um ruído de desenvolvimento, resultante de eventos aleatórios no interior das células, no nível das interações moleculares. (...) A maquinaria do funcionamento celular em nada se parece com a movimentação de moléculas numa solução química. A comunicação entre o DNA do núcleo e o movimento do RNA que entra e sai dele para o citoplasma demanda muita coisa. Por exemplo, uma célula embrionária para se subdividir, e migrar para a posição certa durante o desenvolvimento demanda tempo e sucessão de processos (...). Quando uma célula bacteriana se divide, por exemplo, as células filhas recebem uma quantidade discretamente diferente de material intracelular. (LEWONTIN, 1998:43)

Os genes determinam muitos aspectos dos seres vivos, mas sozinhos não organizam um indivíduo. Um ovo de galinha não origina um pato, mas interna-

⁶ O experimento dos dentes da galinha evidencia que há necessidade que epitélio e mesênquima interajam no embrião para haver a formação de um dente (com esmalte e dentina) na descendência.

mente a uma ninhada, a variação entre os pintinhos não será explicada apenas pela informação genética. Além das características que decorrem dos ruídos particulares, há aquelas que valem para toda a espécie e que são ligadas ao tipo de ambiente onde ela se encontra. O conceito de “norma de reação” foi criado pelos geneticistas para designar o fenômeno das variações provocadas pelo meio ambiente em uma espécie. Esta pode exibir diferentes fenótipos, conforme as condições ambientais: umidade, temperatura, nutrientes, etc. A metáfora para ilustrar o fenômeno é a do balde d’água. Os genes oferecem a capacidade máxima de desenvolvimento de um fenótipo e o meio ambiente contribui com a disponibilidade de água. Lewontin também critica essa ilustração pois ela expressa um preconceito dos geneticistas de qualificarem positiva ou negativamente fenótipos em abstrato. Por que um ambiente onde uma planta atinge maior altura deve ser considerado mais favorável? Por que a altura da planta é um sinal de que está melhor adaptada? E mais, Lewontin argumenta que o balde tem uma capacidade volumétrica, o genótipo, não. O genótipo varia de ambiente para ambiente e “não existe um ambiente normal” (LEWONTIN, 1998:35).

Lewontin afirma que embora estágios sucessivos fixados internamente sejam um traço comum do desenvolvimento, eles não são universais (LEWONTIN, 1998:24). As variações explicadas pela norma de reação só abrangem um aspecto da manifestação genética porque se a entendermos como um balde vazio, os genes ainda são determinantes em certa medida. Para chamar a atenção sobre a capacidade de um organismo agir em consonância com o meio, sem ser, entretanto, por determinação expressa de seus genes, Lewontin cita o exemplo da planta trepadeira tropical que, ao se enroscar em um tronco de árvore ou se estender pelo solo, vai adotando aspectos diferentes. Assim, um mesmo indivíduo vegetal exhibe tropismos diferentes, muda distância entre suas folhas que, por sua vez, também assumem tamanhos distintos, ao subir na árvore ou se espriar no solo, evidenciando que o determinismo genético tem grandes limites explicativos. Lewontin também desconfia da capacidade explicativa das mutações aleatórias:

“A variação genética depende do processo de mutação e as mutações são eventos raros. Qualquer mutação nova no DNA ocorrerá apenas uma vez em cerca de 100 milhões de gametas. Além disso, se uma única mutação ocorre em um só recém-nascido, mesmo que seja favorável, existe uma probabilidade razoável de que ela não esteja representada na geração seguinte, porque, por acaso, seu único portador pode não transmiti-la a seus descendentes. O tempo que decorre entre a origem de uma espécie e o momento em que uma mutação do tipo exatamente correto surge e alcança uma frequência suficientemente alta para tornar-se significativa no processo seletivo é da mesma ordem de grandeza do próprio tempo de vida total da espécie, por volta de 10 milhões de anos. Portanto, a maioria das mutações que teriam sido selecionadas se houvessem ocorrido jamais chega a se concretizar. Uma espécie tem de valer-se da variação que ela realmente apresenta.

“Além disso, as mutações que podem ocorrer em uma espécie são condicionadas pelo seu estado genético no momento. Cada mutação é uma substituição única no DNA. Produzir uma variante genética seletivamente útil a partir da sequência de DNA existente pode requerer não uma, mas diversas mutações, cada qual do tipo exa-

tamente correto. Como os vertebrados são animais quadrúpedes, poderiam ser necessárias muitas mutações, das quais nenhuma seria útil por si só, para chegar a uma variante genética que pudesse ser a base para que o animal ganhasse asas e mantivesse as pernas. (LEWONTIN, 1998:95)

Embora Lewontin não proponha o abandono da teoria neodarwinista, oferece a seu leitor muitos elementos para uma crítica. Trata-se de uma questão delicada uma vez que a pressuposição da aleatoriedade das mutações foi (e é) justamente o que garantiu o selo de cientificidade à explicação dada por Darwin. Entretanto, a maioria das mutações genéticas em drosófilas, supostamente aleatórias, depende da temperatura, ou seja, tais mutações são, em alguma medida, induzidas pelo meio. Além disso, a visão mecanicista que aceita a possibilidade de mutações pontuais aleatórias irem se juntando para formarem um organismo pode ser facilmente contrariada se pensarmos que, diferentemente do que se pensou ao longo do século XX, não é absolutamente seguro afirmar que um gene tem informação suficiente para a construção de uma proteína, bem como as modificações orgânicas acontecem de forma sincrônica:

A mão é unidade adequada de pesquisa se nos ocupamos do estudo do ato físico de segurar um objeto, mas a mão e o olho em conjunto compõem uma unidade irreduzível para o entendimento de como chegamos a segurá-lo. (LEWONTIN, 1998:86)

Para Lewontin, são os organismos, e não suas características, que evoluem e afirma que nada garante que todas as diferenças entre as espécies decorram de adaptação às forças seletivas que operam sobre elas. A grande parte das mutações nas espécies é constituída por mutações neutras. (LEWONTIN, 1998:126).

Há então diversas dificuldades na narrativa neodarwinista advindas da aceitação da mutação genética aleatória como base exclusiva da diversidade viva, pela via da seleção natural. Tal narrativa destitui a criatividade dos seres vivos e tem como premissa a externalidade do meio ambiente em relação a cada indivíduo, pressupondo um meio em abstrato – e por isso universal. E, culminando, a questão epistemológica central: como em um sistema denominado complexo, separar causas e efeitos, já que causas também são efeitos e vice-versa? Por que apostar na existência de um único princípio para explicar a diversidade? Sobre isso, Lewontin comenta:

A dificuldade de encontrar regularidades keplerianas a partir das observações da natureza é consequência de caminhos causais múltiplos. Proposições causais são em geral *ceteris paribus*⁷ mas na biologia todas as outras coisas quase nunca são iguais. (LEWONTIN, 1998:99)

Lewontin é, também, um crítico das metáforas mecanicistas incluindo aquela que compara um organismo a um computador, como se seu desenvolvimento tivesse sido produzido a partir de um de programa de informática. Ele

⁷ Mantidas inalteradas todas as outras variáveis.

afirma que mesmo se houvesse hipoteticamente a possibilidade de sequenciamento genético do genoma humano por um computador de qualidade ilimitada, mesmo assim:

“Não poderíamos computar o organismo, porque um organismo não computa a si próprio a partir de seus genes. Qualquer computador que realizasse um trabalho de computação tão insatisfatório quanto o que um organismo executa a partir de seu “programa” genético seria imediatamente jogado no lixo, e seu fabricante seria processado pelo usuário. Evidentemente, é verdade que leões são diferentes de carneiros e seres humanos de chimpanzés, porque seus genes são diferentes, e uma explicação satisfatória a respeito de leões, carneiros, chimpanzés e seres humanos não precisa recorrer a outros fatores causais. Mas se quisermos saber por que dois carneiros são diferentes entre si, uma descrição das diferenças genéticas entre eles é insuficiente”. (LEWONTIN, 1998:23-24).

A metáfora da computação é apenas uma atualização da metáfora da máquina usada por Descartes. Como toda metáfora, ela capta alguns aspectos da verdade mas pode desencaminhar-nos se tomarmos ao pé da letra (LEWONTIN, 1998:45).

Como dito anteriormente, a metáfora que Lewontin propõe é a de “construção”, em substituição à de programa (LEWONTIN, 1998:132). Os organismos estão em construção juntamente com seu meio, o que coloca em xeque a visão de que mutações aleatórias são submetidas à direção de um “meio”, que assume, assim o papel de agente da evolução das espécies. Considero que a fragilidade desta explicação está de alguma forma presente entre cientistas, o que é manifestado no fato deste tema ser tratado nos livros didáticos como o resultado final de uma controvérsia científica. Contrariamente ao que normalmente acontece nesse tipo de literatura, que é a apresentação diretamente da “caixa preta” já em seu estágio fechado, sem se remeter à história da “superioridade de uma hipótese em relação às concorrentes”, o esclarecimento do embate entre Lamarckistas e Darwinistas está sempre presente ao contexto “da descoberta”. Esta é referida como uma ruptura com o pensamento religioso e teleológico e enfatiza-se o caráter aleatório das mutações. Entretanto, a explicação teleológica volta e meia quer retomar o lugar central no plano do discurso da biologia, como demonstra Ingold (2019) na crítica que faz das metáforas selecionistas. É mais fácil acreditar com Lamarck que as bactérias conseguiram um modo de se adaptar ao antibiótico, do que, com Darwin, entender que, ao acaso, elas sempre são acometidas por uma mutação que eventualmente tornam umas poucas resistentes, que sobreviverão e serão, ao longo do tempo, maioria, tornando o antibiótico ineficaz.

É Ingold quem explica o que vêm a ser as mutações aleatórias da seleção natural neodarwinista:

Independentemente do que possam ser as causas de mutações específicas (se não forem puramente espontâneas), acredita-se que não tenham nenhuma relação com as necessidades e o funcionamento atuais dos organismos nos quais ocorrem, nem com a natureza dos seus ambientes. Apenas nesse sentido pode ser considerada um evento casual, um acidente. É provável que a grande maioria seja neutra ou deletéria em seus efeitos. Contudo, comparadas com o

número de transcrições fiéis do material genético, as mutações são de fato muito raras. Isso significa que uma característica marcante da cópia genética é sua exatidão; mas, por esse mesmo motivo, os erros que realmente ocorrem serão automaticamente replicados com a mesma fidedignidade. Tendo em mente o grande número de genes que constituem o modelo mesmo de um organismo relativamente simples, bem como o número de gerações celulares na vida de um só indivíduo, há amplas oportunidades de ocorrerem mutações, e, portanto, de se acumularem ao longo de gerações. (INGOLD, 2019:195)

O pressuposto de que as mutações sobre as quais age a seleção natural seriam erros aleatórios deixa o neodarwinismo com perguntas sem resposta. Se a duplicação do DNA é feita para ser exata, possuindo muitos mecanismos para corrigir erros na duplicação, e se (por causa disso ou independentemente deste fato) uma mutação tem mais chance de ser nefasta do que benéfica, por que imaginar que ela seria a melhor fonte de variabilidade das espécies que sofrerão seleção? Como a seleção natural que, supostamente selecionou a si própria como princípio evolutivo, selecionou formas de redundância para evitar erro na réplica das cromátides e, ao mesmo tempo, selecionou o erro que ela evitou como meio de adaptação? Ou a base da evolução não é a mudança, ou, se é a mudança, não sendo orientada pelo meio, deve ter um rendimento muito baixo, exigindo um desperdício de formas mutantes ruins até surgir uma favorável. Esta explicação exige, como se lê acima, no trecho retirado do livro de Ingold, que haja um grande número de seres para que possa acumular erros com vantagens adaptativas.

Sendo as mutações genéticas aleatórias, produto de erro e, em princípio, não adaptativas, como podem ter sido selecionadas “pelo meio” e constituírem a base da variabilidade dos seres vivos? Essa colocação leva à discussão sobre a epigenética.

A exclusividade da aleatoriedade das mutações exige um desperdício que contradiz a tendência à eficácia dos sistemas energéticos presente nos ciclos naturais e no funcionamento dos organismos vivos. Como admitir que a variabilidade é fruto do erro, evitado pela natureza através de uma série de mecanismos, e é, ao mesmo tempo, a base sobre a qual a natureza se move? O bioquímico Michael Behe sustenta que há um planejamento inteligente no nível dos sistemas bioquímicos intracelulares (BEHE, 1996:190). Lembra que a ideia da bióloga Lynn Margulis foi tratada com certo descrédito assim que apresentou sua tese que os organismos seriam fruto da associação e da simbiose e não da competição. Ela sugeriu que na Terra primitiva uma célula maior teria engolido outra menor e se complexificado. Esse seria o caso das mitocôndrias que teriam sido células antes de serem organelas de células. Atualmente, a teoria de Margulis sobre as mitocôndrias é amplamente aceita.

Experimentos laboratoriais realizados nos anos 1980 evidenciaram a existência de formas de mudanças genéticas não randômicas. Barbara McClintock, laureada em 1983 com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina, mostrou a existência de mutações genéticas não aleatórias, além de ter percebido a existência

dos transpósons, genes que mudam de um lugar para o outro no genoma (JABLONKA & LAMB, 2010). Os genes, segundo a pesquisadora, conformariam um conjunto extremamente sensível, frequentemente em processo de reestruturação e de monitoramento das atividades citoplasmáticas e genéticas, assim como de correção de erros comuns e de resposta a eventos incomuns. McClintock observou ainda, estudando determinado tipo de planta, que o estresse ambiental levava a um deslocamento maciço desses elementos móveis dos genomas das células vegetais, sugerindo que elas mobilizam sistemas que alteram seu DNA quando não conseguem responder ao estresse com eficiência. Também nos anos 1980, a equipe do biólogo John Cairns afirmou ter encontrado mutações dirigidas em bactérias (JABLONKA & LAMB, 2010).

As mudanças epigenéticas ocorrem de maneira bem diferente das mutações genéticas. Elas são produto do silenciamento ou ativação de um gene sem que haja alteração na sua estrutura. Além disso, as mudanças epigenéticas são sempre dirigidas, dando resposta a mudanças do meio. Algumas formas de mudança epigenética podem passar à descendência, funcionando como uma mutação genética; mas, diferentemente dessas últimas, elas podem ser reversíveis. Como a má nutrição e a poluição ambiental são fontes de mudanças epigenéticas desvantajosas, há sociólogos que querem aí identificar o elo que propiciaria a desejada interação entre as ciências naturais e as sociais (LANDFECKER & PANOFKY, 2013). Jablonka e Lamb (2010) denominam as mudanças epigenéticas de mutações “interpretativas”, já que não ocorrem ao acaso e respondem a alterações no meio e nas condições de vida das células ou de organismos. Elas são encontradas especialmente em bactérias, mas ocorrem também em células de animais. Entre humanos, por exemplo, durante a gravidez, na fase embrionária, verificou-se que as células do feto podem sofrer mudanças epigenéticas, a exemplo do episódio conhecido como “fome holandesa” (FRANCIS, 2011, 89).

Conforme discutido alhures (SILVA, 2016), as mudanças epigenéticas podem explicar a diferenciação (ou especialização) celular, ou seja, como de uma única célula-ovo surge um novo ser, e ainda desempenham papel central na manutenção da “memória celular”⁸, graças à qual as linhagens de células-filhas mantêm as mesmas características da célula-mãe (JABLONKA & LAMB, 2010:299-300). Nikolosi e Ruivenkamp (2012) sustentam que as mudanças epigenéticas podem ser um paradigma alternativo à seleção natural. Esses autores afirmam ainda que a nova maneira de se olhar o genoma, ou seja, como algo mais sensível do que sempre se imaginou, tanto no sentido de menos estático quanto no sentido de mais conectado com o meio externo, pode desafiar o dogma (ver nota 2) da biologia:

The gene-centric reading of life has increasingly been challenged by biology scientists as well as by philosophers of Science over recent years. Gradually, a new way of looking at the role of the genome in life processes, based on alternative assumptions, has appeared. The

⁸ A propósito de mecanismos de memória celular (também referida por memória epigenética) ver, por exemplo, os artigos de Maurange & Paro (2012) e de Fantappiè (2013), mais geral e didático.

new assumptions have been tracing a two-step conceptual flow challenging the genetic dogma: from the idea of the isolated genome to the idea of its relationships with the living organism (first step); from the living organism to the interrelations of this latter with the environment (second step). What is crucial here is that this flow is not unidirectional, but a circular one. (NIKOLOSI & RUIVENKAMP, 2012:313)

O artigo intitulado significativamente pelos autores como “The epigenetic turn” então propõe uma mudança de paradigma: o abandono do neodarwinismo como grande teoria explicativa da mudança dos seres vivos.

3 – Evolução dirigida: mutações interpretativas para uma natureza significativa

Kalevi Kull (2013) e sua equipe vêm apostando em uma alternativa à seleção natural como princípio explicativo da diversidade dos seres vivos. Kull (2013) propõe uma compreensão semiótica, baseando-se sobretudo em Uexküll, mas também em Waddington (1961) e em Jablonka e Lamb (2010). A hipótese biosemiótica sustenta que as “mudanças epigenéticas”, também chamadas de “mutações interpretativas”, teriam, estas sim, uma importância capital para a evolução biológica. De acordo com o que já foi exposto em trabalho anterior (SILVA, 2016), Waddington sugeriu a existência de um processo que denominou “assimilação genética” (WADDINGTON, 1961:259). Quando animais tentam com sucesso se adaptar desenvolvendo um comportamento novo, as mudanças genéticas que “mimetizarem” esse comportamento aprendido serão também selecionadas dispensando o aprendizado das gerações subsequentes. Para Kull, as mudanças de comportamento precedem as mutações propriamente genéticas no processo evolutivo. Ele conjectura que uma população, ao enfrentar novas condições ambientais, pode passar por ajustes fisiológicos que mudam seu fenótipo, sem mudar estruturalmente o genótipo, ou seja, passa por uma mudança epigenética. Caso a alteração passe à descendência, graças à herança epigenética, o novo fenótipo se torna permanente. Se, com os acasalamentos, essa mudança epigenética se tornar genética e, portanto, irreversível, este processo ensejará o surgimento de uma nova espécie. Para ele, são os acasalamentos ao acaso que mantêm a população dentro de certos limites de variabilidade. Diferentemente do princípio de seleção natural, trata-se de uma hipótese sobre um processo relacional. Kull afirma:

Se pudermos contrastar dois mecanismos da evolução adaptativa – o neodarwinista e o semiótico – precisamos descrever como um mecanismo individual versus outro relacional. A seleção natural é baseada na replicação de traços genéticos exibidos por um indivíduo. A semiótica descreve um vínculo coletivo de uma escolha orgânica. É um processo puramente relacional. (KULL, 2013:291)

É imensa a importância de uma teoria relacional para a biologia. Já foi enfatizado que o neodarwinismo é uma teoria mecanicista, retirando a agência dos

seres vivos sobre seu modo de vida e sua sobrevivência, preferindo as explicações sobre frequência genética àquela sobre os processos adaptativos concretos. Uexküll, grande referência de Kull⁹, ao conceber a ideia de *Umwelt*, se contrapõe à visão de organismo como máquina para enfatizar os aspectos perceptivos e sensíveis dos animais:

O mecanismo de uma máquina qualquer, digamos, de um relógio de algibeira, é sempre constituído “centripetamente”, quer dizer, as peças do relógio – os ponteiros, a corda, as rodas – têm de ser prontadas primeiro, individualmente, antes que sejam ligadas a uma peça central. (...) A estruturação de um animal, pelo contrário, faz-se sempre “centrifugamente”, a partir do germe (UEXKÜLL, 2008:161). A biologia (...) pretende apenas aludir a fatores que existem no sujeito (...) e que hão de servir para tornar inteligíveis as conexões do mundo dos sentidos (UEXKÜLL, 2008:165).

Para Uexküll, qualidades, tais como cor, odor, sonoridade, temperatura e umidade, que são experimentadas pelos corpos, servem de sinais aos sistemas perceptivos dos animais. Observo que, enquanto na teoria de Darwin os seres vivos são entendidos como indivíduos, produtos de agregados de traços também individualizados, a biologia de Uexküll, sem deixar de considerar cada organismo como indivíduo único, enfatiza a ideia de que cada um é, sobretudo, exemplar de sua espécie, dotada de certas capacidades perceptivas. São as características de cada espécie que estão no centro das observações do naturalista estoniano. A visão relacional de Uexküll vai de encontro às análises que apostam na alienação do ser vivo de seu ambiente; ao contrário, ele afirma que o animal é um sujeito em seu meio e que, ao experimentá-lo, cria com seu objeto uma unidade a que denomina ciclo de função. Ciclo-função, então, é o conjunto de relações estabelecido entre sujeito e objeto ao se ajustarem reciprocamente, obedecendo a um plano, ou seja, a uma totalidade (UEXKÜLL, 2008:36).

Embora o conceito de nicho, i.e., conjunto das funções desempenhadas e requeridas por um organismo em seu meio, tal como vem sendo utilizado e reformulado pelos biólogos desde os anos 1910 (VANDERMEER, 1972), possa ser aproximado ao de “mundo próprio”, cunhado por Uexküll, suas respectivas referências paradigmáticas são muito distintas, pois a ideia de nicho está estreitamente associada ao paradigma selecionista que incarna o Grande Divisor. A ideia de nicho pressupõe a de competição – intra e interespecífica –, cara à teoria da seleção natural. A vertente neodarwinista chamada Construção de Nicho reformula, na esteira das colocações originais de Lewontin (2001), a visão selecionista de nicho, mas não a contradiz (LLAND & BROWN, 2006). O conceito de “mundo próprio”, diferentemente daquele atinente à Teoria da Construção de Nicho, enfatiza o fato de os seres vivos, dotados de sistema nervoso, serem sujeitos de sua forma de estarem no mundo, e não produtos de um “meio selecionista” difuso e universal, que é, este sim, na teoria darwinista, o sujeito da evolução.

Uma segunda diferença entre as concepções de nicho e de *Umwelt* é a de

⁹ Kalevi Kull fundou em 1993 o Centro Jakob von Uexküll ligado à Universidade de Tartu para dar continuidade a pesquisas sobre biossemiótica.

que os animais são reconhecidos, por Uexküll, como capazes de representação. Para a biologia hegemônica, a espécie humana é a única dotada de capacidade de representação. Para Uexküll, todo ser dotado de sistema perceptivo tem uma representação do mundo, que é o que propicia a constituição de seu mundo próprio. Não se trata de uma representação simbólica, cognitiva, uma ideia abstrata, mas de uma representação sensível, baseada na experiência corpórea (UEXKÜLL, 2008:125), advinda dos sentidos físicos e que enseja a construção de uma subjetividade dos animais dotados de sistema nervoso.

Para cada mundo próprio há sinais específicos. No mundo próprio do carapato o cheiro exalado pelo mamífero de cujo sangue ele quer se servir é um sinal. No mundo próprio de um gastrônomo as passas na massa de um bolo são um sinal. Conforme as possibilidades de identificação de qualidades do mundo através dos 5 sentidos (visão, audição, tato, olfato e paladar) vão se criando os mundos-próprios e se estabelecendo os planos estabelecidos com os ciclos de função. As plantas, por não terem sistema nervoso, não possuem nem mundo-próprio nem estabelecem ciclo-função (UEXKÜLL, 2008:149). A percepção do espaço se dá em consonância à sofisticação dos órgãos sensitivos. O autor lembra que as crianças consideram os espaços maiores do que os adultos por causa de sua relação corpórea (UEXKÜLL, 2008:59). O mesmo acontece com o tempo:

“O tempo como sequência de momentos varia de um mundo próprio para os outros, consoante o número de momentos que os sujeitos vivem no mesmo intervalo de tempo. Os momentos são os mínimos, indivisíveis, continentes de tempo, pois que sensações elementares indivisíveis, os chamados sinais instantâneos. No homem, como já dissemos, a duração de um momento é de 1/18 do segundo” (UEXKÜLL, 2008:62-63). “Põe-se a questão de saber se há animais cuja percepção do tempo tenha momentos mais longos ou mais curtos do que os nossos, e em cujos mundos-próprios, por isso, os decursos de movimento sejam mais lentos ou mais rápidos que no nosso” (UEXKÜLL, 2008:64). “No mundo-próprio do caracol, uma vara que vibra com o período de quatro vezes por segundo é como se estivesse em repouso. De onde devemos concluir que o tempo do caracol flui num ritmo de três a quatro momentos por segundo. Isso tem como consequência que no mundo próprio do caracol todos os fenômenos de movimento se passam muito mais rapidamente do que no nosso” (UEXKÜLL, 2008:65).

Moscas, minhocas, cnidários e moluscos foram estudados por Uexküll tendo seus respectivos mundos-próprios desvendados. No caso das minhocas, era suposto, a partir de uma primeira experiência, que carregavam folhas para sua galeria segundo a percepção de um determinado formato. Mas em um segundo experimento foram oferecidos às minhocas galhinhos com uma das extremidades lambuzadas de gelatina, o que fez com que se percebesse que a forma não era um sinal para a minhoca, embora o fosse para as abelhas:

“Pôde demonstrar-se que as minhocas arrastam para dentro das suas galerias pequenas varzinhas (...). Apesar de a minhoca se comportar perante as folhas de maneira relacionada com a sua forma, não é realmente pela forma, mas pelo gosto, que ela se orienta. (...) Foi possível

demonstrar que as abelhas pousam de preferência em coisas cujas formas recortadas são virtualmente decomponíveis em outras mais simples, como estrelas e cruzeiros, evitando, pelo contrário, formas inteiriças, como círculos e quadrados” (UEXKÜLL, 2008:78).

Uexküll concluiu, assim, que a forma é uma característica do mundo-próprio da abelha, mas não do da minhoca. Esta última, como a vieira e o carrapato, carece no seu mundo-próprio de verdadeiras imagens-perceptivas, ou seja, visuais. Para Uexküll os mundos-próprios não têm finalidade:

Talvez mais tarde se considerem como tendo finalidade certos comportamentos dos mamíferos superiores, que, mesmo eles, estão por sua vez subordinados ao plano natural de conjunto. Em todos os outros animais não existem comportamentos orientados no sentido de um fim” (UEXKÜLL, 2008:81).

A ideia de finalidade na biologia de Uexküll diz respeito à mediação de uma intenção ou consciência. Os ciclos-funções são basicamente a unidade de dois polos que se ajustam graças às percepções sensíveis independentemente de intencionalidade ou premeditação. Por exemplo, o autor se refere à questão das finalidades de um ciclo-função numa *Unwelt* narrando um experimento laboratorial em que machos de uma determinada espécie de inseto são atraídos pelo som da fêmea, mas não necessariamente por sua presença física, sendo o ciclo-função do acasalamento estabelecido por percepção sonora. Na experiência, uma fêmea foi mantida presa em uma campânula de vidro, dentro da qual podia ser vista de fora. Entretanto, a campânula não deixava passar o som com que a fêmea normalmente atrai os machos de sua espécie. Próxima à campânula foi colocado um microfone que amplificava o som feito por uma fêmea que estava em outra sala do laboratório. Os machos não ficaram próximos à campânula onde estava presa a fêmea, aglomerando-se junto ao microfone (Uexküll, 2008, 85). Conclui-se então que o corpo (ou forma) da fêmea não é um sinal para o estabelecimento de um ciclo-função. Para que isso aconteça é necessário o som, que é o que constitui a cadeia do ciclo que faz parte da *Unwelt* desses insetos.

Outra experiência mostra que galinhas também obedecem a uma cadeia de ciclos-de-função de sensação sonora porque precisam ouvir o piado dos filhotes para serem instadas a protegê-los. Os cientistas colocaram em um ninho de uma galinha de penas claras um ovo que originaria sabidamente um pintinho de penas escuras para que ela o chocasse. Quando a ninhada saiu dos ovos, a galinha teve comportamentos contraditórios para com o pintinho de cor diferente. Ao vê-lo entre sua ninhada, o atacava como se fosse um intruso, e ao ouvi-lo piar, corria em seu socorro. Uexküll analisa que os sinais acústicos e ópticos, característicos do mesmo objeto (o pintinho de fenótipo distinto), desencadeiam na galinha dois ciclos-de-função opostos. Tais sinais não formam uma unidade no mundo-próprio da galinha.

Há exemplos que evidenciam que aspectos subjetivos ou imaginários podem ter mais importância do que os sensoriais, isoladamente, na constituição do mundo-próprio. O autor descreve:

Havia no Jardim Zoológico de Amsterdam em casal de abetouros jovens cujo macho se tinha enamorado do diretor do Jardim. Para não prejudicar o acasalamento, este não apareceu para o macho durante muito tempo. De modo que o macho se afeiçoou à fêmea, e o fato surtiu efeito; e como a fêmea caísse no choco, o diretor resolveu voltar a aparecer. O que sucedeu? Muito simplesmente que, mal o macho avistou seu companheiro-dileto, escorraçou a fêmea do ninho, e por meio de repetidos sinais parecia dar a entender que o diretor podia ocupar o lugar a que tinha direito e continuar a chocar os ovos. A percepção pelo indivíduo do companheiro-de-infância parece ser, a maior parte das vezes, a que mais incisivamente fica gravada. (UEXKÜLL, 2008:112)

Esse episódio ilustra que nem sempre a forma ou outros sinais perceptivos são cruciais para a imagem-efetora, isto é, aquela que provoca a ação, e sim uma memória inicial de um ente que ficou marcado no mundo próprio do macho abetouro. Uexküll mostra que há imaginação na construção de mundos-próprios para algumas espécies. Argumenta que há certas eleições que não se produzem exclusivamente a partir de estímulos externos apreensíveis por cada sentido. Há mundos-próprios-imaginários, que são aqueles que não estão ligados a quaisquer experiências, como os, conforme exemplifica Uexküll, “das crianças e povos primitivos” (UEXKÜLL, 2008:125). Ligadas a este mundo imaginário estão, segundo o autor, atitudes enigmáticas de animais. Quando os animais agem de forma a não responderem sinais perceptivos no ambiente, seguindo um caminho inato, por exemplo, o que está em jogo é o mundo-próprio-imaginário.

A migração das aves ilustra, segundo Uexküll, um misto de processo de aprendizado, dos filhotes que acompanham seus pais, e caminho inato, no qual representações da imaginação conformam o percurso a ser percorrido pelos continentes:

Somos pois levados, finalmente, a aceitar o fenômeno de imaginação do caminho inato que desdenha de qualquer objetividade e que, no entanto, intervém no mundo-próprio de acordo com um plano. Há ainda nos mundos-próprios puras realidades subjetivas. Mas também as realidades objetivas do mundo ambiente, como tais, nunca entram nos mundos-próprios. São sempre transformadas em sinais-característicos ou imagens perceptivas e providas de um teor-efetor, que as transforma em objetos reais, apesar de nos estímulos nada existir que seja teor-efetor (UEXKÜLL, 2008:127).

Em Doutrina do Significado, Uexküll se remete ao que denomina de objetos significantes. Um mesmo objeto ou ser vivo podem ter significados distintos em mundos-próprios diferentes. Mostra como pode existir uma diversidade de apropriação dos mesmos objetos e lugares. Assim, uma pedra pode servir de pavimento em um caminho ou de arma se atirada contra outrem. Também o pedúnculo de uma flor, por exemplo, pode ser visado por alguém que a colhe para embelezar um ambiente deslocando-a do jardim para um vaso; pode ser a via pela qual um inseto anda para alcançar o néctar que está na base da flor; pode ser o abrigo em que se instala uma larva de inseto enquanto cresce e, finalmente, alimento para um herbívoro. Ele explica:

Logo que cada componente de um objeto orgânico ou inorgânico surge como objeto significante, no cenário da vida de um sujeito animal, esse componente é posto em contato com um, digamos, “complemento”, situado no corpo do sujeito que intervém como utilizador do significado.

Há vários tipos de ciclo-função, que é o que relaciona o objeto significante com o sujeito, que responde com um certo comportamento ao sinal perceptivo: o ciclo função do *habitat*, da alimentação, da proteção e da reprodução. Apesar desta decomposição do organismo em aspectos que significam e aqueles que utilizam os sinais do mundo, Uexküll se opõe à metáfora do organismo vivo como máquina pois afirma que para além da energia física há uma energia vital “específica” (UEXKÜLL, 2008:150). Animais e plantas possuem função vital consoante com seu plano subjetivo de organização. Argumenta:

E, finalmente, o simples ciclo de função ensina-nos que tanto sinais-característicos como marcas-de-ação, são exteriores ao sujeito, e que as propriedades do objeto, que o ciclo-de-função inclui, só podem ser consideradas como seus veículos.

Assim, pois, chegamos à conclusão que cada sujeito vive num mundo em que só existem realidades subjetivas e que até os mundos-próprios, eles mesmos, só apresentam realidades subjetivas.

Quem nega a existência de realidades subjetivas é porque não reconheceu os fundamentos do seu mundo-próprio. (UEXKÜLL, 2008:127)

Todos estes diferentes mundos-próprios estão incluídos e arrastados num uno que se conserva eternamente vedado a todos os mundos-próprios. Por trás de todos os mundos por ele criados, oculta-se eternamente o sujeito inatingível – a Natureza (UEXKÜLL, 2008:137).

Patrick Tort (TORT, 2008) propõe que há uma grande inspiração kantiana na obra de Darwin, embora esse naturalista, extremamente refinado e atento ao comportamento dos animais, tenha manifestado claramente admiração pela geologia e pela embriologia (GALE, 1982), e não pela filosofia. Já Uexküll traz manifestamente para a recém-nascida biologia de sua época elementos da formação como filósofo, o que é possível ler no trecho acima. Apesar de Uexküll não endossar o princípio da seleção natural, estava preferencialmente voltado para outras querelas, a exemplo daquela existente entre etologistas europeus e psicólogos norte-americanos, a respeito de instinto e aprendizado.

No início do século XX, o psicólogo norte-americano John B. Watson publicou “*Behaviorism*”, lançando a teoria de mesmo nome onde sustentava a centralidade do aprendizado para o comportamento animal, a partir dos estudos da psicologia experimental. Para zoólogos europeus, como o austríaco Konrad Lorenz (1903-1989), que recebeu o prêmio Nobel de Medicina em 1973, e cuja obra é bastante referida à de Uexküll, e o holandês Nikolaas Tinbergen (1907-1988), o instinto era a base do comportamento animal que, nesse sentido, seria basicamente inato, e não aprendido, necessitando, entretanto, de desencadeadores ambientais como sinalizadores, consoante às ideias de Uexküll. Assim, Konrad Lorenz formulou o conceito de Mecanismo Liberador Inato, que teria sua sede em um centro receptor de estímulos presente no sistema nervoso central e que,

estimulado, desencadearia uma série de comportamentos. Por exemplo, vespas do gênero *Ammophila*, poucas semanas antes de chegar o verão, preparam seus ninhos, inclusive lá deixando presas (como lagartas de borboletas e aranhas). Entretanto, só fazem isso se avistarem um macho de sua espécie, o que foi considerado por Lorenz o estímulo para ativar o Mecanismo Liberador Inato. Niko Tinbergen demonstrou que a fêmea de outro tipo de vespa, a escavadora, associa pontos de referência no espaço à localização de seu ninho. Quando, em um experimento científico, um círculo de pinheiros foi mudado de posição, observou-se que a vespa não conseguiu mais localizar o ninho.

No mundo-próprio da natureza, dos behavioristas, o corpo cria o espírito, e no do psicólogo é o espírito que cria o corpo. O papel da natureza como objeto é eminentemente contraditório (UEXKÜLL, 2008:137).

A contradição da natureza para Uexküll é que ela é ao mesmo uma e diversa, o que aponta para a importância da questão da subjetividade em sua teoria. O mundo próprio pode ser tanto mais subjetivo (ou capaz de imaginação) quanto maior for a complexidade do sistema nervoso da espécie. Como argumentei alhures (SILVA, 2017), há atualmente um reconhecimento na antropologia e na biologia, que outros animais podem ser “pessoas”, ou seja, podem ser dotados de subjetividade, um modo próprio de representar o mundo. Antropólogos, como Ingold (2006 e 2007), sustentam que os animais são, numa certa acepção do termo, “pessoas”. Também Kohn (2013), fundamentando sua análise etnográfica sobre os Runa na filosofia de Charles Peirce, propõe uma visão semiótica da natureza, alinhada com a dos seus próprios “nativos”. Kull (2004), remetendo-se a John Deely, afirma que o fim do modernismo é caracterizado pelo florescimento da semiótica e que a recuperação do legado de Uexküll ilustra, da parte da biologia, esse diagnóstico.

4 – Considerações Finais

Este trabalho discutiu a necessidade de renovação de premissas do neodarwinismo com vistas à superação do Grande Divisor, apoiando-se sobretudo nas obras de S. J. Gould e R. Lewontin. Apresentou também alternativas mais recentes a questões tais como sustentadas pelo neodarwinismo. Perceber as propriedades dos sistemas perceptivos de seres não-humanos como dotadas da capacidade de gerar uma representação do mundo redimensiona a atual ruptura heurística entre humanos e não-humanos. A racionalidade humana seria assim uma variante desta capacidade de representação, possivelmente extensiva aos seres vivos como um todo. A proposta ensejada pela biossemiótica é, portanto, em comparação ao determinismo genético, mais propícia à reconciliação natureza/cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, Paulo. Human evolution: a role for culture? In: Alwood, J.; Pombo, O.; Renna, C.; Scarafite, G. (eds.). **Controversies and Interdisciplinarity**. Amsterdam: John Benjamins, 2020, p. 133-154.

ARAÚJO, Eduardo F. A teoria da Umwelt de Jakob von Uexküll. **Galáxia**, n 7, 2004.

DA GLÓRIA, Pedro. O que nos faz humanos? Bases empíricas e evolutivas das principais transições da linhagem Hominínia. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, Brasília, v.6, n. 1, jul 2018, p 105-153.

DARWIN, Charles. **A Origem das Espécies**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia, 2004a.

DARWIN, Charles. **A origem do homem e a seleção sexual**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia, 2004b.

FRANCIS, Richard. **Epigenetics. The ultimate mystery of inheritance**. New York: W. W. Norton & Company, 2011.

GALE, Barry G. **Evolution Without Evidence. Charles Darwin and The Origin of Species**. Albuquerque: New Mexico Press, 1982.

GOULD, Stephen Jay. **A Galinha e seus dentes e outras reflexões sobre história natural**. Petrópolis: Paz e Terra, 1992.

GOULD, Stephen Jay. **Dinossauro no palheiro. Reflexões sobre história natural**. S. Paulo: Cia das Letras, 1997.

GOULD, Stephen Jay. **Punctuated Equilibrium**. Cambridge, Massachusetts, Belknap Harvard: Harvard University Press, 2007.

HARAWAY, Donna. **Crystals, Fabrics, and Fields. Metaphors That Shape Embryos**. Berkeley: North Atlantic Books, 2004 [1976].

INGOLD, Tim. Distinção entre Evolução e História. **Antropolítica. Revista Contemporânea de Antropologia**, Niterói, n 20, p. 17-36, EDUFF, 2006.

INGOLD, Tim. Introdução a "O que é um animal? " **Antropolítica. Revista Contemporânea de Antropologia**, Niterói, n 22, p. 129-150, EDUFF, 2007.

INGOLD, Tim. **Evolução e Vida Social**. Petrópolis: Ed Vozes, 2019.

JABLONKA, Eva e LAMB, Marion. **Evolução em quatro dimensões**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

KULL, Kalevi, et al. Uexküll and the post-modern evolutionism. **Sign Systems Studies**, v. 32. n. 1 / 2, 2004.

KULL, Kalevi, et al. Theses on Biosemiotics: Prolegomena to a Theoretical Biology. **Biological Theory**, v. 4, n. 2, 2009, 167-73.

KULL, Kalevi. Adaptive evolution without natural selection. **The Linnean Society Biological Journal**. v. 112, p 287-294, 2014.

KOHN, Eduardo. **How Forests Think. Toward an Anthropology beyond the Human**. California: Un. California Press, 2013.

LALAND, Kevin & BROWN, Gillian R. Niche Construction, Human Behavior, and the

Adaptive-Lag Hypothesis. **Evolutionary Anthropology**, v. 15, 2006, p. 95-104
DOI 10.1002/evan., 2006.

LALAND, Kevin & O'BRIEN, Michael J. Niche Construction Theory and Archaeology. **Journal Archaeology Method Theory**, Springer LLC 2010 DOI 10.1007/s10816-010-9096-6, 2010.

LATOUR, Bruno. **Ciência em ação. Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. São Paulo: Ed. Unesp, 2000.

LATOUR, Bruno. **Jamais fomos modernos. Ensaio de Antropologia Simétrica**. Coleção Trans. Rio: Editora 34, 1994.

LÉVI-STRAUSS, Claude. Raça e História *In Antropologia Estrutural Dois*. Rio: Edições Tempo Brasileiro, pp 238- 366, 1976.

LEWONTIN, Richard. Adaptation. **Scientific American**, p 213-228, 1978.

LEWONTIN, Richard. **A tripla Hélice**. Lisboa: Ed 70 Ltda, 1998.

LEWONTIN, Richard. Gene, Organism and Environment: A New Introduction. In: OYAMA, Susan; GRIFFITHS, Paul & GRAY, Russell. (orgs). **Cycles of Contingency. Developmental Systems and Evolution**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology Press, 2001, pp 55-66.

SILVA, Gláucia A seleção natural como narrativa sobre o grande divisor, a biossemiótica e as etnografias das pessoas humanas e não-humanas. **Revista Interseções**. Rio de Janeiro, v. 22 n. 2, p.300-329, set. 2020.

SILVA, Gláucia. Is natural selection a chimera? Reflections on the 'survival' of a principle. **Vibrant**, Brasília, v.14, n. 3, 2017.

SILVA, Gláucia e DUARTE, Luiz Fernando D. Epigênese e epigenética: as muitas vidas do vitalismo ocidental. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, ano 22, n. 46, p. 425-453, jul./dez. 2016

SILVA, Gláucia. Os antropólogos devem, sim, falar de biologia: a contribuição de Tim Ingold para uma reflexão sobre o darwinismo hoje. In: Steil, Carlos e Carvalho, Isabel (orgs). **Cultura, percepção e ambiente. A contribuição de Tim Ingold para uma mudança de paradigma**. São Paulo, Ed. Terceiro Nome. pp. 121-136, 2012.

SILVA, Gláucia. **O que é Sociobiologia**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

SILVA, Gláucia. A Sociobiologia e a crítica dos antropólogos. **ComCiência. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**, v. 8, n. 3, 2006.

SMITH, Cameron M. & RUPELL, Julia C. What Anthropologists Should Know About the New "Evolutionary Synthesis". **Structure and Dynamics Journal**, n.5, v.(2), 2011.

TORT, Patrick. **L'Effet Darwin. Sélection naturelle et naissance de la civilisation**. Paris, Seuil, 2008.

TYLOR, Edward B. **Primitive culture. Researches into the development of mythology, philosophy, religion, language, art, and custom**. Cambridge: Cambridge Un. Press, 2010 [1871].

UEXKÜLL, Jakob Von. **Dos animais e dos homens. Digressões pelos seus próprios mundos. Doutrina e Significado**. Lisboa: Editora Livros do Brasil, 2008.

[1934 e 1940]

VANDERMEER, John H. Niche Theory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 3, v. 1, p. 107-132, 1972.

WADDINGTON, Conrad Hal. Genetic assimilation. **Advanced Genetics**, n.10, p.257-290, 1961.