

Filosofia da ciência e evolução: uma contribuição ao ensino Parte 2: O que é uma teoria?

Francisco José de Figueiredo

Doutor em Ciências Biológicas (UFRJ), Professor Associado do Departamento de Zoologia (UERJ)

✉ fjfig@globo.com

Levy Aquino de Oliveira

Graduando em Ciências Biológicas (UERJ), Monitor da disciplina de Evolução do curso de graduação em Ciências Biológicas (UERJ)

✉ levyaquino2009@hotmail.com

Recebido em 6 de junho de 2020

Aceito em 26 de julho de 2020

Resumo:

A falta de conhecimento básico em filosofia da ciência por parte de professores e alunos tem proporcionado, em diversos níveis, impedimentos quanto à assimilação de conceitos fundamentais da investigação científica, notadamente hipótese, lei, fato e teoria. Conseqüentemente, o ambiente social subjacente torna-se propício para a disseminação de informações falsas e a instalação de propostas pseudocientíficas. Como pré-requisito para a compreensão do metafenômeno evolutivo, conceitos básicos e outros correlatos são analisados e discutidos, com exemplos aplicados ao evolucionismo moderno. A estrutura interna de uma teoria científica é discutida à luz de diferentes correntes de pensamento da filosofia da ciência contemporânea e a legitimidade da teoria evolutiva é avaliada. Categorizações das ciências são apresentadas e discutidas com ênfase na questão da historicidade. Assume-se que o conflito entre ciência e religião pode ser atribuído à falta de distinção explícita entre linguagens literal e simbólica; as duas formas de aquisição de conhecimento possuem caminhos e objetivos diferentes e podem conviver em regime de iluminação recíproca em sociedades com reduzida disfunção social. Apesar das controvérsias e debates quanto a mecanismos e processos envolvidos, a teoria evolutiva gera previsões, mostra elevado acúmulo de evidências empíricas e resiliência ao acomodar novos dados. Acrescida de influxos recentes, permanece como a melhor explicação para a história da biodiversidade em nosso planeta. A proposta alternativa de “criacionismo científico” não se sustenta pela total falta de evidências empíricas, baseando-se em argumentos tautológicos, falaciosos ou intestáveis.

Palavras-chave: Filosofia da Ciência, Método científico, Evolução, Ensino de Biologia.

Philosophy of science and evolution: a contribution to the science teaching Part 2: What is a theory?

Abstract:

Lacking of knowledge about basics of Philosophy of Science by students and teachers have produced constraints in several levels regarding assimilation of basic concepts used in scientific investigation, particularly about hypothesis, theory, fact and natural law. As a result, the social environment became propitious to propagation of false informations and set up of pseudoscience claims. As a precondition to evaluate the metaphenomenon of Evolution, these concepts are analyzed, taking into account examples coming from evolutionary theory. The inner structure of a scientific theory is discussed based on current mainstreams of thinking on Philosophy of Science and the status of theory of evolution is evaluated. Classifications of sciences are presented and discussed mainly on trial of historical issues. We assume the conflict between science and religion is due to lack of distinction between literal and symbolic languages; both ways of knowing have different paths and objectives

and could coexist in reciprocal illumination, particularly in society with low social disfunction. Besides a lot of controversies and debates regarding mechanisms and processes, the theory of evolution matters by relevant predictions, amount of empirical evidences and demonstrates to be resilient to accommodate new data. Increased by recent outputs, it remains as the best explanation for the history of biodiversity in our planet. The proselyte ‘scientific creationism’ is unsustainable due to lack any empirical evidences, depending on tautological, fallacious, and untestable arguments.

Keywords: Philosophy of Science, Scientific method, Evolution, Science teaching.

Filosofía de la ciencia y evolución: una contribución a la enseñanza de ciencias Parte 2: ¿Qué es una teoría?

Resumen:

La falta de conocimientos básicos sobre la filosofía de la ciencia por parte de profesores y estudiantes ha proporcionado, em diferentes niveles, impedimentos en lo que se refiere a la asimilación de conceptos fundamentales de la investigación científica, en particular hipótesis, leyes, hechos y teoría. Por consecuencia, el entorno social subyacente se convierte en propicio para la difusión de información falsa y para la instalación de propuestas pseudocientíficas. Como prerrequisito para comprender el metafenómeno evolutivo, se analizan y discuten los conceptos básicos y otros correlatos, con ejemplos aplicados al evolucionismo moderno. La estructura interna de una teoría científica se discute a la luz de las diferentes corrientes de pensamiento de la filosofía de la ciencia contemporánea y se evalúa la legitimidad de la teoría evolutiva. Las categorizaciones de las ciencias se presentan y discuten con énfasis en la cuestión de la historicidad. Se supone que el conflicto entre ciencia y religión puede atribuirse a la falta de distinción explícita entre las lenguajes literales y simbólicas. Las dos formas de adquisición del conocimiento tienen diferentes caminos y objetivos y pueden vivir en un régimen de iluminación recíproca en sociedades con disfunción social reducida. Apesar de las controversias y debates sobre mecanismos y procesos involucrados, la teoría evolutiva genera predicciones, muestra una alta acumulación de evidencias empíricas y resistencia al acomodar nuevos datos. Enriquecida por recientes corrientes, sigue siendo la mejor explicación para la historia de biodiversidad de nuestro planeta. La propuesta alternativa del “creacionismo científico” no está respaldada debido a la falta total de evidencias empíricas y por estar basada em argumentos tautológicos, falaces ou intestables.

Palabras clave: Filosofía de la Ciencia, Evolución, Método científico, Enseñanza de Biología.

INTRODUÇÃO

Figueiredo e Oliveira (*in press*) destacaram o papel e a importância da Filosofia da Ciência e suas ferramentas na análise de fatos e argumentos quanto ao mundo físico. Enfatizaram que o *senso crítico* (ceticismo, *vide* SMITH, 2004) é elemento fundamental no âmago de uma sociedade que preza pela liberdade de pensamento e expressão, indicando-o como a melhor estratégia no combate ao obscurantismo galopante dos “tempos líquidos” (*sensu* BAUMAN, 1992, 2007). É a melhor forma de se separar realidade de ilusão e, particularmente, “boa ciência” de “má ciência” (PLIGIUCCI, 2010). O assunto foi abordado com o objetivo de fornecer subsídios para a compreensão das evidências que sustentam a teoria

evolutiva e sua divulgação adequada dentro do Ensino de Biologia.

A expressão – “é apenas uma teoria” – ainda é recorrente em discussões dentro de ambientes tanto leigos quanto acadêmicos, particularmente quando se refere à teoria de Evolução por Seleção Natural de Darwin (*vide* DARWIN, 1952; ELDREDGE, 1985; GOULD, 2002). É reflexo de um problema que remete ao ensino básico de ciências nas escolas ou à ignorância (às vezes, má intenção) exposta por algum grupo social querendo obter vantagem na discussão. Assim, a distorção de conceitos tem servido premeditadamente para colocar a teoria científica em pé de igualdade com qualquer tipo de crença, banalizando seu poder explicativo e minimizando o papel da ciência na sociedade. Sendo relegada à condição de uma crença qualquer, a teoria evolutiva deveria ceder igual espaço para o proselitista “criacionismo científico” (um oxímoro!) nas escolas. E o objetivo final seria bani-la totalmente do currículo escolar (FUTUYMA, 1995). Isso requer uma resposta à altura da sociedade.

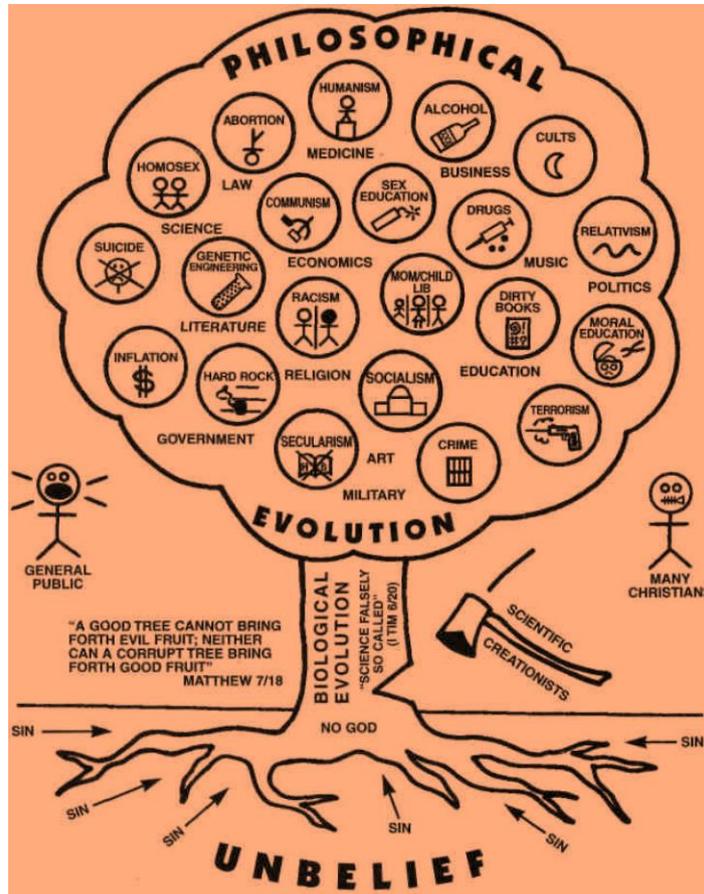
Ilustrando a situação, o ex-presidente americano Ronald Reagan (1911-2004), em 1980, em discurso diante de religiosos fundamentalistas, em Dallas, Texas, afirmou em relação à teoria de Evolução:

Bem, trata-se apenas de uma teoria, uma teoria científica, que tem sido contestada no mundo da ciência nos últimos anos e que ainda não é reconhecida pela comunidade científica como tão infalível como antes se acreditava ser. [cf. ELDREDGE, 2010, p. 21, tradução nossa].

Pois bem, a declaração gerou reação contrária de boa parte da sociedade americana, particularmente entre indivíduos cultos, mas, pela falta de conhecimento da maioria da população, houve um profundo silêncio, sem avaliação crítica.

Por outro lado, nas escolas (públicas ou particulares) aprende-se, desde cedo, a fazer arrojados experimentos e a tirar conclusões deles, como se os experimentos fossem os fins, sendo na verdade, os meios para avaliarmos ideais. Ao contrário das conclusões e aplicações do conhecimento obtido, as *implicações* de certos resultados são, por vezes, omitidas ou deixadas de lado. Dependendo do assunto abordado, podem gerar profundo desconforto (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, *in press*). E quando se trata de evolução, a situação é ainda pior.

Figura 1. A Evolução vista como uma árvore de descrença e causa de todos os males sociais, em panfleto propagandístico distribuído pela *Pittsburgh Creation Society*, Pennsylvania.

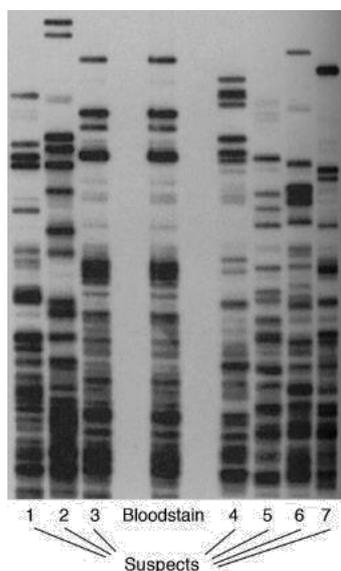


Fonte: Modificado de M. Shermer (2011).

Mas, a ação nefasta do obscurantismo se estende por várias ciências, de modo que nota-se um interesse subjacente em diminuir o valor da ciência na sociedade (FUTUYMA, 1995).

No caso da Física, boa parte dos detratores reconhece a veracidade, por exemplo, da estrutura atômica e subatômica da matéria e suas aplicações na medicina nuclear, mas implicações tais como o uso da taxa de decaimento radioativo de átomos instáveis na calibração do tempo geológico (*vide* DONOGHUE e BENTON, 2007), é algo inadmissível. O fato científico entra em conflito com a crença numa Terra divinamente criada e de poucos milhares de anos (*cf.* WISE, 1998), como nos faz crer uma inadvertida interpretação literal da narrativa bíblica.

Figura 2. Teste de DNA na esfera criminal. Na comparação de sequências de DNA, o padrão de bandeamento da coluna central é o perfil do DNA obtido de amostra de sangue na cena do crime. De cada lado, estão os potenciais suspeitos do crime. O DNA da amostra é congruente com o suspeito 3 e não com os demais. Esse tipo de análise é estendido para identificação de paternidade, considerando que cada organismo individual tem sequências únicas. A proximidade genética revela relação de parentesco. Cada espécie de ser vivo também tem sua sequência singular. Toda mudança entre espécies é, em última instância, é mudança registrada no DNA. A lógica e a técnica usadas na ciência forense são empregadas também na reconstrução de parentesco entre espécies, revelando relação de grupos dentro de grupos, obedecendo a uma hierarquia que remete a uma árvore filogenética que engloba todos os seres vivos extintos e viventes.



Fonte: Modificado de S. B. Carroll (2006).

Apesar da aceitação que a indústria do Petróleo foi construída a partir do conhecimento científico acumulado pela Geologia, a ideia de que trilobitas, dinossauros e humanos existiram em tempos geológicos diferentes e que a Terra sofreu mudanças climáticas e na configuração dos continentes ao longo de sua longa história (ca. 4,6 Ga), é algo inadmissível pelos detratores (FUTUYMA, 1995).

O teste de paternidade e a identificação individual ciência forense pela comparação de sequências de DNA são assumidos como conclusivos em processo decisório na esfera criminal. No entanto, o uso da técnica na recuperação de relação de parentesco entre diferentes seres vivos é rotulado como falso (Fig. 2). Pior ainda na admissão que somos *upgrade* de macacos ancestrais. As *aplicações* do conhecimento da estrutura do DNA geram mais

conforto do que suas *implicações* (CARROLL, 2006).

Enfim, para os detratores há um grande problema resumido numa trilogia: origem, tempo e mudança. A anatomia dessa controvérsia é discutida a seguir junto com introdução e discussão de termos usados correntemente na Filosofia da Ciência, com aplicabilidade nas Ciências Biológicas.

DESENVOLVIMENTO

Linguagens literal e simbólica: origem de um impasse

É inegável que a Bíblia é um fenômeno cultural e histórico. Mas, sua interpretação literal — *ipsis litteris* — como sendo divinamente inspirada, algo desejado pelos detratores fundamentalistas da teoria evolutiva, padece de uma falha fatal: *não temos os escritos originais, tampouco suas primeiras cópias* (CALLAHAN, 2002; EHRMAN, 2005, 2008). O que restou foram fragmentos copiados e adulterados de acordo com interesses diversos, séculos depois dos escritos originalmente redigidos. Copistas introduziram mudanças, inadvertida e—ou intencionalmente, em várias passagens, gerando cópias e mais cópias repletas de erros (FRIEDMAN, 1997; EHRMAN, 2005, 2008). Nos manuscritos disponíveis, há troca de palavras e contradições nos relatos (GRAVES e PATAI, 1994; FINKELSTEIN e SILBERMAN, 2003; EHRMAN, 2005, 2008). Aqueles que realizam estudos exegéticos confiáveis conseguem, de uma forma ou de outra, analisando esses erros, reconstruir no tempo e no espaço, muito do contexto em que estavam inseridos (CALLAHAN, 2002). Mas, em determinado momento chega-se ao limbo, pela falta dos escritos originais. Dessa forma, referência a qualquer relato bíblico como sendo verdade literal pode estar contaminada com equívocos, de modo que é impossível saber o que teria sido literalmente revelado pelo Deus. Logo, *não dá para ser fundamentalista religioso* (EHRMAN, 2005).

Para aquele que crê nas sagradas escrituras como sendo de inspiração divina, só resta assumir a existência de linguagem simbólica e hermética para lidar com questões espirituais, humanísticas e morais (AYALA, 2006; ARMSTRONG, 2002). Conclui-se que a experiência transcendente é uma experiência psicológica individual e muito subjetiva.

Consequentemente, no caso do cristianismo, distingue-se uma *filosofia cristã* de uma *mitologia cristã* (AYALA, 2006). O mesmo se aplica para interpretações de escrituras sagradas de outras religiões.

A linguagem simbólica é um exercício filosófico no qual qualquer interpretação do pretense documento sagrado não compromete a mensagem assumida como verdadeira. Está imune à investigação empírica que, se fosse o caso, a remeteria ao escrutínio da investigação científica. Com isso, dá para ser religioso e cientista, sem problemas (AYALA, 2006). Os dois lados, com histórias paralelas e objetivos diferentes, não se misturam (ELDREDGE, 2010). Dessa forma, a religião, com sua linguagem simbólica, minimiza o conflito com a ciência. E, por outro lado, cabe aqui dizer, muitos cientistas beberam ou bebem de influência religiosa subjacente sem perderem o foco no método científico (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, *in press*). É possível até um regime de iluminação recíproca (AYALA, 2006).

De acordo com o filósofo escocês David Hume (2001): “um homem sábio faz com que sua crença seja proporcional à evidência”. Certamente há implicações (quase um ônus!) quanto à aceitação de algumas evidências. Elas podem ter consequências profundas na percepção pessoal da realidade, levando a rejeição de ideias impostas ou assumidas como verdadeiras quanto à explicação do mundo físico. É óbvio que esse *senso crítico* colocado à prova é indesejável para aquele que quer manter o *status quo* a todo custo, beneficiando-se da ignorância alheia (CHIAVENATO, 2002). Torna-se um impedimento para a apropriação do dominado pelo dominador. Conhecimento é uma forma de libertação; ignorância é escravidão. David Hume, em 1739 (*cf.* CIVITA, 1999), assim nos adverte:

O antagonista mais valente é subjugado se, por um momento suspende a sua guarda. Muitos, por covardia e tolice abrem os portões para os inimigos e voluntariamente os recebem com reverência e submissão como se fossem seus soberanos legítimos. [Hume (1739), *Investigação Acerca do Entendimento Humano*, em Civita (1999), p. 30]

Se David Hume (*vide* PEQUENO, 2012) está correto quando afirma que aquilo que chamamos de *realidade* é um modelo obtido a partir de experiências sensoriais interpretadas pelos nossos cérebros, devemos ter consciência que podemos ser a todo instante enganados pelas percepções. Nossa imagem de mundo é o resultado do modelo mental construído e sua interação com as observações (PINKER, 1998). Em tempos modernos, realidade depende de *teorias* subjacentes. E essas teorias tentam explicar a *convencional realidade objetiva*, com

objetos e propriedades acessíveis a nossa percepção. Então, se for assim, o senso crítico deve estar acima da crença fortuita. A ignorância quanto às formas de ação da natureza levou o homem a criação de deuses e do sobrenatural regendo todos os aspectos da vida humana (HAWKING e MLODINOW, 2011).

Para se saber o que existe por detrás dessa disputa pelo conhecimento, torna-se necessária uma discussão de como a ciência opera, ou seja, a própria natureza da ciência.

De imediato, nota-se que há um entendimento popular deficiente ou equivocado de vários conceitos da investigação científica, entre eles: hipótese, teoria, lei e fato (SHERMER, 2011). A maioria das pessoas acredita que se trata de uma escala do menor ao maior grau de certeza (GREGORY, 2008). Esses conceitos são as *ideias* trabalhadas pelos cientistas, com significados diferentes do saber popular. Por causa disso, com o objetivo de clarificar esses conceitos e outros correlatos, uma discussão é apresentada a seguir. A abordagem do assunto é complementar àquela de Figueiredo e Oliveira (*in press*). É feita uma análise do objeto de estudo científico, com ênfase naqueles de contexto evolutivo. Como justificativa, têm-se os subsídios necessários para o entendimento da estrutura do evolucionismo contemporâneo (=Neosíntese), assunto abordado no último artigo dessa série de ensaios.

Teoria e conceitos correlatos

A ciência trabalha numa esfera de fenômenos que clamam por explicações, questionamento de ideias sobre eles e evidências que sustentam explicações rivais (ALVES, 2003; SHERMER, 2011; FIGUEIREDO e OLIVEIRA *in press*).

Como não poderia deixar de ser, ciência é influenciada pelo ambiente social e cultural em que se desenvolve, mantendo-se em estado de equilíbrio dinâmico com este. Às vezes está em posição recuada—“pisando em ovos”—, devido ao ambiente hostil (principalmente quando bate de frente com tradições populares ou crenças); outras vezes, assume papel de comando em questões sociais relevantes, como uma “luz no final do túnel” (e.g., recente caso de pandemia do covid-19). Às vezes, pode se tornar impopular, de modo que, mesmo alcançando conclusões e implicações corretas, o ambiente social não está preparado para assimilar revoluções ou rupturas epistemológicas (e.g., revolução iniciada por Nicolau

Copérnico na Astronomia, derrubando o sistema geocêntrico da cosmologia bíblica) (SHERMER, 2006, 2011).

A compreensão das evidências de Evolução é uma questão de adesão popular ao método científico, que tanto nos proporcionou avanços na agricultura, investigação criminal, medicina e tecnologia (FUTUYMA, 1993; STERELNY e GRIFFITHS, 1999; CARROLL, 2006). Aqueles que negam a realidade da Evolução frequentemente utilizam táticas obscurantistas (q.v.) visando ofuscar ou distorcer as distinções elementares entre conceitos básicos (SHERMER, 2006; PIGLIUCCI, 2013; PIGLIUCCI e MÜLLER, 2010).

A ferramenta conceitual básica do cientista é a *hipótese* — a unidade de pensamento científico. Pode ser entendida como uma solução provisória para certo problema ou fenômeno com base na *razão*, *reflexão* e *evidência* (GREGORY, 2008). Simplesmente é uma construção mental (i.e., *constructo* ou conjectura) que *prediz* algo, indicando o que se espera ou não encontrar no mundo físico.

De acordo com a abordagem prescritiva encaminhada para a ciência pelo filósofo austríaco Karl Popper (1902-1994) (e.g., POPPER, 1972), cada hipótese deve ser formulada de modo a fornecer implicações (=deduções) testáveis. Em síntese: “deve conter a semente da sua própria destruição”. Deve-se procurar exceções que a contradigam e ela deve estar predisposta ao confronto (MAGEE, 1974; NEIVA, 1998).

Segundo a *United States National Academy of Sciences* (NAS, 1998), um *hipótese científica* é “um enunciado tentativo a respeito do mundo natural que leva a deduções que podem ser testadas”. Em geral, teste empírico é feito por observação direta, experimentação ou inferência confiável. As predições geradas, particularmente quanto a fatos não observados, constitui elemento poderoso na *validação* de teorias das ciências históricas (e.g., Astronomia, Geologia, Biologia Evolutiva), em que a experimentação é inviável. Então, assume-se que uma hipótese está provisoriamente corroborada caso as deduções sejam verificadas (NAS, 1998).

Na forma mais simples, uma hipótese contém duas variáveis: a *independente*, representando a causa, e a *dependente*, o efeito. Considere o enunciado: *Zika virus contribui para o desenvolvimento de microcefalia*. Zika virus é a variável independente, enquanto *desenvolvimento de microcefalia* é a dependente. Assim, a hipótese pode ser formalizada como: $y = f(x)$.

Mas várias hipóteses podem coexistir na disputa pela melhor explicação. A escolha pode exigir emprego de critérios rigorosos. Uma estratégia possível é o uso do *critério de parcimônia* (=navalha de William Ockham – princípio de economia aplicado à ontologia—“não se deve multiplicar *entes* além do necessário”). Aquela mais simples é a que requer menos “desculpas” (explicações *ad hoc*) na sua sustentação. Logo, é a mais fácil de ser confrontada, aquela mais explícita.

De acordo com a *U.S. National Academy of Sciences*, dos Estados Unidos da América (NAS, 1998), *fato científico* é “uma observação que tem sido repetidamente confirmada e para todos os propósitos práticos, é considerada uma ‘verdade’ ” (tradução nossa).

Dentro de uma visão filosófica popperiana (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, *in press*), considerando que verdade em ciência é um conceito relativo e nunca definitivo, *fato científico* decorre da resiliência da hipótese. Se ela (i.e., a hipótese) resistiu a uma infinidade de testes, há alto grau de probabilidade quanto a sua veracidade. Assim, assume-se, para todos os efeitos, a proposta como uma verdade. Por exemplo, é *fato científico* que a Terra é redonda, mesmo com o delírio de terraplanistas (*vide* EVANS, 1952). Desde os primórdios da história da humanidade, evidências se acumularam gerando uma expectativa de total veracidade. Isso tem funcionado a contento. Mas, diga-se de passagem, em ciência, nenhum fato está livre de revisão.

Quando as hipóteses endereçadas para explicar certos fatos são insuficientes, colocando-se além da possibilidade das simples observações, apelamos para um corpo de conhecimento mais robusto – as *teorias*.

Cabe aqui dizer que há uma confusão generalizada quanto ao uso da palavra teoria. O termo era usado na filosofia clássica grega como sinônimo de conhecimento especulativo, contemplativo, abstrato, afastado de uma experiência concreta. Era o saber puro, sem preocupação pragmática. O termo continuou a ser utilizado nesse sentido, em caráter popular, até hoje. Por causa disso, no saber popular, uma teoria significa pouco mais que um palpite (*doxa*, dos gregos), algo que não inspira grande credibilidade ou algo um tanto distante da verdade. Popularmente, dá-se ênfase à *falta* de dados substanciais na sustentação de uma ideia. No entanto, na esfera científica, teoria adquiriu outro significado.

Segundo Oliva (2012), uma *teoria científica* pode ser definida como:

Um conjunto de enunciados interligados que subsistem entre eles relações logicamente organizadas de consequência que, no caso de ciências empíricas, inclui relações de correspondência com a “realidade” (estados de coisas) com o objetivo de descrever com precisão, fornecer explicações seguras e encaminhar predições confiáveis. [p.21].

De acordo com *The National Academy of Sciences* (NAS, 1998) dos Estados Unidos da América, uma *teoria científica* é:

Uma explicação bem substanciada de algum aspecto do mundo natural que pode incorporar fatos, leis, inferências e hipóteses testadas. [tradução nossa].

Em síntese, teoria é uma situação em que *evidências, leis e hipóteses* se misturam e se completam formando um corpo sólido de conhecimento testável. Justifica-se pela consistência lógica e fundamentação empírica, unindo fatos *a priori* não relacionados através de hipóteses congruentes ou compatíveis. Cobre mais coisas do que as que, a princípio, tenta explicar (BUNGE, 1985). É também proibitiva, indicando ineficácia de outra teoria rival. No caso da teoria X ser correta sob determinadas condições, então *deverá* ocorrer uma condição A e não a alternativa B.

Teorias não possuem *status* de verdades absolutas: elas são provisórias ou relativas. Pode-se *confirmar*, mas nunca *provar* uma teoria. E o fato de uma hipótese auxiliar, no contexto da teoria ser refutada por teste empírico, não implica na derrubada da teoria porque, em geral, está voltada para caso específico (e.g., um salto não derruba a lei da gravitação universal de Newton ou no caso de se achar um gato com duas patas, não inviabiliza que enunciado que gatos adultos são quadrúpedes). Por isso, novas e velhas ideias podem se acomodar à teoria desde que sejam revistas e melhor formuladas (i.e., eliminando-se as “abobrinhas”); daí revisões no sentido de melhor explicar os fatos.

Se, em termos de estrutura lógica, teoria e hipótese são equivalentes (PETERS, 1989), na prática teorias exibem pretensões mais grandiosas que as meras hipóteses. Teorias tentam explicar fatos e são testadas pelas hipóteses produzidas (GREGORY, 2008). Em contexto histórico, as teorias surgiram quando o corpo de conhecimento gerado pela experimentação revelou-se limitado. São frequentemente usadas para explicar fenômenos que não podem ser observados pelos sentidos, mas que *acreditamos* ocorrer, pois explica racional e

coerentemente aquilo que foi percebido. Daí, questões envolvendo micro e macrocosmos, origens e “tempo profundo” (“*deep time*”) começaram a exigir elegantes formulações conceituais, muitas vezes, interdisciplinares.

No caso da Evolução, o papa João Paulo II, em *L'Osservatore Romano*, de 1996, (cf. CARROLL, 2006, p. 236) reconhece que:

[...] evolução é mais que uma hipótese. É, na verdade, notável assinalar que esta teoria tem sido progressivamente aceita por pesquisadores, decorrente de uma série de descobertas em várias áreas do conhecimento. A *convergência*, nem procurada nem fabricada dos resultados de trabalhos que foram conduzidos independentemente é, em si, um significativo argumento em favor desta teoria” [tradução e itálico nossos].

Evolução é tratada como *fato* e *teoria* no contexto acadêmico. A percepção que as espécies mudam com o tempo, que estão relacionadas por parentesco segundo um sistema de grupos inclusos, remetendo a uma espécie ancestral em comum, recebe suporte de áreas diversas da Biologia (e.g., distribuição geográfica de espécies, homologias morfológicas e de sequências moleculares, órgãos vestigiais e atavismos) e da Geologia (e.g., deriva continental, grandes extinções em massa, fósseis alocrônicos). O acúmulo de evidências a favor e o fato de nenhuma observação confiável significativa ter sido feita que a contradiga, faz com que *Evolução* seja considerada *fato científico* (FUTUMA, 1993; RIDLEY, 2006; ELDREDGE, 1985, 1995; COYNE, 2014)

Por outro lado, Evolução é *teoria* quando a ênfase é dada ao processo de *seleção natural*, explicação capitaneada por Darwin, como sendo o mecanismo evolutivo central na produção das *adaptações* (cf. WILLIAMS, 1966). Mas evolução não está restrita a produção de adaptações, outros fatores biológicos (e.g., deriva genética, epigenética, pontuismo, especiação) e físicos (e.g., eustasia, tectônica, mudanças climáticas) também contribuem para explicar *como* ocorreu. Todos os processos evolutivos são invocados na explicação do *fato científico* da Evolução (ELDREDGE, 2010).

Os detratores do Evolucionismo costumam argumentar que a teoria evolutiva não é legítima, pois, ao lidar com eventos passados, não pode fazer observação direta de fatos ou fenômenos, verificação experimental ou aplicação de testes empíricos (MACBETH, 1971; JOHNSON, 1991; MORRONE, 2003). Assumem uma visão engessada de ciência seguindo os

moldes convencionais das ciências “*top-model*” (e.g., física e química). E pior, na falta de qualquer evidência na sustentação de seus argumentos, vivem na espreita de alguma nota de rodapé ou deslize nos caminhos da ciência para se aproveitar da situação.

É fato que os cientistas não formam um corpo homogêneo e congruente de conhecimento e impressões pessoais. Sendo assim, divergências de opinião ou impressões equivocadas são prontamente aproveitadas pelos detratores de plantão. Por exemplo, nas décadas de 1970 e 1980, certos biólogos (e.g., a “gang” dos quatro – Colin Patterson, Bryan Gardiner, Don Rosen e Peter Forey) tinham a intenção de desvincular sistemática biológica de evolução, separando padrão de processo. Identificaram problemas conceituais na teoria sintética de evolução (cf. ELDREDGE, 1985; BOCK, 1979) que não se ajustavam ao método hipotético-dedutivo de Karl Popper, assumido como modelo vigente. Nenhum deles negava a *realidade* da Evolução, mas endossam que a teoria evolutiva seria *desnecessária* como justificativa dos padrões recuperados pelas técnicas cladísticas. Endossavam que a emergente perspectiva cladística (i.e., “cladismo transformado”, *vide* HULL, 1987)— um rigoroso método de descoberta de padrões de relações históricas entre objetos (i.e., espécies ou áreas de distribuição) — deveria seguir independente de teoria subjacente (PATTERSON, 1978). Os padrões serviriam *a posteriori* para testar supostos processos subjacentes (e.g., especiação, seleção natural, anagênese) usados na interpretação da hierarquia obtida. Como solução heurística, não haveria a necessidade de se ajustar padrão recuperado a qualquer processo evolutivo (e.g., especiação) como justificativa. Esta proposta de desvinculação conduziu a um impasse. Torna-se uma atividade inócua recuperar padrões sem haver uma *justificativa* (e.g., especiação, vicariância) subjacente (RIDLEY, 1986). Como embutido na filosofia popperiana, é complicado desvincular observação de teoria. Estão atreladas. Assumindo-se evolução como pano de fundo, há coerência filosófica para a ordem natural.

A imensa quantidade de evidências quanto a processos vindas da Biologia Molecular e Genética do Desenvolvimento, a partir da década de 1980, conduziram a uma visão de padrão filogenético dependente de *inferência* a partir de modelo evolutivo subjacente, descartando a proposta do “cladismo transformado”.

Ao criticar as explicações narrativas históricas e endossar o método hipotético-dedutivo na reconstrução de relações por ancestral comum (ao contrário de relação ancestral-descendente), o antigo editor da conceituada revista *Nature*, Henry Gee, deixou

escapar (sic!) que:

[Hipóteses históricas] não podem ser testadas por experimento, portanto, elas não são científicas... nenhuma ciência pode ser histórica. [Gee, (1999), p. 8, tradução nossa].

Se fosse o caso, astronomia, astrofísica nuclear, geologia, paleontologia estariam com seus dias contados. E os vereditos dados nos tribunais quanto às hipóteses de criminalidade estariam comprometidos.

No entanto, sabe-se que:

(a) apesar dos eventos pretéritos serem singulares, as condições que os geram são recorrentes, podem ser replicáveis (CHALMERS, 1993; CARROLL, 2006; JABLONKA e LAMB, 2010);

(b) observações associadas a boas ideias geram boas hipóteses testáveis (PIGLIUCCI 2013);

(c) experimentos não são indispensáveis na investigação científica (PIGLIUCCI, 2013);

(d) há diferentes métodos científicos.

Ainda, detratores afirmam que evolução não seria predizível, ou seja, incapaz de indicar fatos ou observações testáveis futuras (MACBETH, 1971). Porém, tal crítica reflete o entendimento equivocado (ou tentativa de distorcer) do conceito de *predição* usado nas ciências.

Por *predição*, entende-se que, se uma ideia é verdadeira, há indicação do que esperamos encontrar. Pode-se recorrer à natureza e verificar se os fenômenos preditos (i.e., consequências observáveis) lá ocorrem. Por exemplo, se certas espécies estão mais aparentadas (e.g., por sequências homólogas de DNA) entre si do que com outras, *prediz-se* que a natureza está organizada hierarquicamente num sistema de grupos inclusos (i.e., *nested sets*) de espécies, com base em semelhanças compartilhadas por elas em diferentes níveis de generalidade, remetendo a ancestral comum (FUTUYMA, 1993, 1995; RIDLEY, 2006). Em outras palavras, se Evolução é uma realidade, há na natureza um *padrão hierárquico de*

semelhanças interligando todas as espécies de seres vivos (NELSON e PLATNICK, 1981; RIEPPEL, 1988; ELDREDGE, 2010; WHEELER, 2012). Com esse padrão subjacente pode-se *predizer*, por exemplo, que a resposta à administração de determinada droga medicinal será muito mais parecida entre gorila e homem (pois estão mais estreitamente aparentados) do que entre homem e um rato.

De acordo com as observações da Biologia Molecular (*cf.* CARROLL, 2006, 2011; BLEIDORN *et al.*, 2017), havendo erros e mudanças nas cópias de DNA, esses estão lá registrados na macromolécula e as *novidades evolutivas* que geram novas formas, funções e comportamentos podem ser detectadas. Nessa lógica, presume-se a existência de um *kit* de ferramentas comum a todos os seres vivos, que estaria presente no ancestral comum primordial. Esse conjunto de genes, apelidado de genes “imortais”, foi descoberto e constitui prova cabal quanto à ancestralidade comum (CARROLL, 2006). São 500 genes ultraconservadores encontrados em todos os domínios da vida (*i.e.*, Bacteria, Archaea e Eukaryota). Presume-se que foram mantidos pela seleção natural, atuando em processos celulares fundamentais, tais como na decodificação de DNA e RNA e fabricação de proteínas (Fig. 3).

Outra predição da teoria de Evolução é a de que a história da vida na Terra está registrada nas rochas pelos fósseis que testemunharam aparecimentos e desaparecimentos, mudanças graduais ou súbitas e extinções de espécies (RUSE, 1979; FUTUYMA, 1993, 1995; FERRAGUTI e CASTELLACCI, 2011). Para pôr fim à questão, bastaria achar um pelo de mamífero numa rocha cambriana para derrubar a teoria de Evolução. A ideia de evolução é tão corroborada quanto à ideia de uma Terra redonda girando em torno do sol.

Mas, como não poderia deixar de ser, as implicações quanto à aceitação da teoria evolutiva são imunizadas pelos detratores, desde a educação de base até a universidade (particularmente naquelas sob influência religiosa ortodoxa ou fundamentalista), numa verdadeira batalha ideológica pelo poder (Fig. 1). Segundo eles, o *senso crítico* deveria dar lugar à *fé cega*. Toda e qualquer evidência contrária à crença professada é colocada “embaixo do tapete”, distorcida ou demonizada (o que quer que isso signifique). E não faltam técnicas de persuasão (algumas até coercitivas) explorando problemas lógicos do pensamento.

Shermer (2011) destaca alguns desses problemas do pensamento:

(a) *algo não explicado é inexplicável (=evidência empírica negativa)*—se não dá para demonstrar que algo não existe, logo deve existir (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, *in press*);

(b) *ad ignorantium*—uma postura do tipo: “se alguém não consegue refutar uma afirmação, então esta deve ser correta”;

(c) *ad hominem*—se não dá para rechaçar um argumento, invista na desmoralização do proponente buscando situações que o diminuam diante do observador;

(d) *tu quoque*—postura do tipo “Maria-vai-com-as-outras”; “se todo mundo acredita, eu também devo acreditar, porque assim me parece bom”;

(e) *generalização apressada (i.e., preconceito)*—chega-se a uma conclusão antes que o fato a justifique (e.g., “uma dupla de professores ruins indica que a escola toda é ruim”);

(f) *falácia da negação (ou isso ou aquilo)*—dualizando o mundo, desacredita-se uma posição, obrigando o observador a aceitar forçadamente a alternativa (e.g., “se há tantas controvérsias e debates quanto à teoria evolutiva, é melhor se apegar ao criacionismo porque me dá conforto”);

(g) *imunidade ideológica*—mantenha a todo custo sua crença apesar de todas as evidências contrárias: “é uma forma de mostrar para as outras pessoas sua personalidade marcante e suas convicções, inabaláveis”. No contexto religioso, isso conduz ao *fideísmo*, onde se aceita a “verdade” religiosa pela fé, descartando-se a razão (GRENZ et al., 2000). Essa postura mostra o quanto as pessoas podem ser preconceituosas e radicais, contribuindo para a disfunção social;

(h) *autoritarismo*—a confiança cega em líderes, em geral, com retórica impecável, mas com argumentos pouco confiáveis ou falaciosos; trata-se de um fenômeno muito comum nas sociedades com profunda disfunção social, onde apela-se para o primeiro que se apresenta como “salvador da pátria”, dizendo em que se deve acreditar, como se comportar e qual o

“melhor” caminho a seguir;

(i) *reductio ad absurdum*—uma tática ardilosa e inescrupulosa de associar teorias científicas a ideologias políticas. Por exemplo, a teoria de Evolução foi acusada de ter base comunista, ateuísta e assentada na imoralidade, portanto, algo ruim para a educação das crianças das famílias cristãs. O argumento não faz o menor sentido; há bons e maus cristãos, capitalistas, comunistas, muçulmanos e ateus. A aplicação da teoria tem sido usada tanto por capitalistas quanto comunistas. Por exemplo, o *darwinismo social* – uma distorção execrável das ideias de Darwin para fins político-econômicos – teve origem nos EUA, no século XIX, entre capitalistas elitistas e conservadores, como o economista William Graham Sumner (1840-1910), que defendia a tese de que os milionários seriam indivíduos naturalmente selecionados pela sua competência administrativa e que deveriam ditar as normas na sociedade americana (*vide* HOFSTADTER, 1944). E, curiosamente, Trofim D. Lysenko (1898-1976), o geneticista soviético e lamarckista assumido, acusava o darwinismo de ser uma sórdida estratégia capitalista para expansão global (MILNER, 1990).

Figura 3. Um gene imortal, representado por uma breve sequência de uma proteína (fator de alongamento 1- α) encontrada em todos os domínios de seres vivos. Diversos aminoácidos (indicados por sombreamento) não sofreram mudança por 3 bilhões de anos em virtude da ação conservadora da seleção natural. Esse fato científico corrobora a existência um ancestral comum a todos os seres vivos.

<i>Homo sapiens</i>	DAPGHRDFIKNMITGTSQADCAVLIV
TOMATE	DAPGHRDFIKNMITGTSQADCAVLII
LEVEDO	DAPGHRDFIKNMITGTSQADCAILII
ARCHAEA	DAPGHRDFVKNMITGASQADAAILVV
BACTERIA	DCPGHADYVKNMITGAAQMDGAILVV
“letras imortais”	D-PGH-D--KNMITG--Q-D---L--

Fonte: Modificado de S.B. Carroll (2006).

Com tantas questões pendentes quanto às teorias científicas, e particularmente com a teoria evolutiva, cabe aqui uma análise mais aprofundada sobre elas.

Segundo Peters (1989), uma *teoria* deve ter: *escopo*, *testabilidade*, *simplicidade*, *acuracidade* e poder de *previsão*.

Por *Escopo*, entende-se abrangência definida, já que *não é possível explicar tudo*. Há um limite. Mas há tentativas arrojadas e pretensiosas, como no caso da “teoria-M”, na verdade, uma família de teorias distintas, um modelo único, contendo todas as propriedades físicas e que preveria todas as observações que se possa fazer a respeito do universo (HAWKING e MLODINOW, 2011).

A *testabilidade* é um aspecto importante, pois através do teste empírico almeja-se a *validação externa*, livrando-se, *a priori*, a teoria da opinião ou impressão pessoal. Nesse sentido, buscam-se evidências empíricas positivas com *instrumentos de teste* centrados em: i) observação direta; ii) experimento sob controle; iii) inferência confiável (i.e., bem fundamentada).

A *simplicidade* indica que quanto mais simples forem as hipóteses auxiliares de uma teoria, mais facilmente estarão predispostas aos testes empíricos. Em outras palavras, quanto mais destilada, menos explicações *ad hoc*.

Acuracidade confunde-se com a tentativa crescente de eliminação das ambiguidades, em geral com o auxílio de algum recurso instrumental.

Por fim, a *previsão* permite que o conhecimento cresça de modo que possamos gerar novas hipóteses. Aparte de padrões subjetivos subjacentes (e.g., beleza, elegância, inspiração, inteligibilidade), o *poder preditivo* da teoria — sua maior qualidade — é dado pela combinação de escopo, acuracidade, testabilidade e simplicidade. E, por outro lado, sua capacidade informativa depende das predições ou enunciados falsificáveis fornecidos.

Geologia Histórica e Biologia Evolutiva lidam com eventos episódicos, particulares, ocorridos no *tempo geológico* (“tempo profundo”, *deep time*) que não podem ser observados direta ou indiretamente na atualidade (e.g., grandes eventos de extinção em massa). Esses eventos podem estar causalmente relacionados no tempo, mas de forma assimétrica. Para se saber o que o aconteceu, os cientistas recorrem às *inferências*, aquelas explicações de

fenômenos percebidos por causas não observadas que não podem ser replicadas em condições laboratoriais. Por vezes, a escolha da hipótese mais provável requer a *seleção de múltiplas hipóteses*, cada uma suscetível a testes empíricos específicos (CHAMBERLIN, 1897). Seja como for, o que importa numa teoria é a testabilidade dos argumentos e a qualidade das evidências (CLELAND, 2001).

Para Bunge (1985), os aspectos fundamentais das boas teorias são:

- i) *Coerência interna* — sistematização de conhecimento *minimizando as contradições*.
- ii) *Univocidade* — correção formal e exatidão linguística, evitando *ambiguidades* no significado dos termos.

Em geral, em prol de praticidade e favorecendo a *univocidade*, recorre-se à velha *lógica aristotélica*, onde somente valores que podem ser ajustados a um enunciado são verdadeiros ou falsos (LOSEE, 1979). Assim, assume-se que a natureza real das coisas pode ser expressa sob a forma de *axiomas* (i.e., proposições lógicas) que geram propriedades que são consequências inevitáveis. Por exemplo, a essência (=natureza real) de um triângulo é expressa pela sua definição como uma figura margeada por três lados retos e uma *consequência inevitável disso* é que quaisquer dois lados juntos é maior que um terceiro. Essa tática favorece a aplicação dedutiva do critério de falsificabilidade prescrito por Karl Popper (cf. MAGEE, 1974).

Quando há amplo reconhecimento e compartilhamento pela comunidade científica de um conjunto de ideias, hipóteses ou teorias, e essa forma de pensar segue coesa ao longo do tempo, tem-se um *paradigma* (KUHN, 1970). É o modelo a ser seguido; algo do tipo “segue o líder”.

Teoria adquire o *status* de paradigma pelo alto poder explicativo e pelas evidências acumuladas que resistiram aos testes. Mas, no caso de haver novas evidências que indicam falhas profundas no modelo seguido, há abertura para novos caminhos e revisões de bases históricas, filosóficas e metodológicas. O resultado pode ser a construção de novo paradigma em substituição ao anterior. Como assinalado por KUHN (1970) é a fase de troca ou integração da *ciência normal* (representando o *status quo*) pela *ciência revolucionária*, aquela emergente e dissidente.

De praxe, em ciência, grupos de cientistas tentam “vender o seu peixe” a todo custo.

Pesquisadores formam equipes e disputam prestígio com grupos rivais. O sucesso de uma corrente de pensamento em relação à outra, como no darwinismo, tem sido avaliado pela quantidade de descendentes ideológicos produzidos (e.g., orientandos, parcerias, solicitações acadêmicas). Trata-se de um assunto polêmico, mas a cargo da *Sociologia da Ciência* (HULL, 1987).

Cientistas estão sempre “quebrando a cabeça” na busca pela melhor solução para problemas específicos, confrontando argumentos e, principalmente, expondo suas provas (MEDAWAR, 1969; BUNGE, 1985; OLIVA, 2012; PIGLIUCCI, 2013). Na escolha da melhor explicação, é comum o conflito entre teorias rivais e comparação de metodologias. É fato que grupos de pesquisa tentam defender suas ideias a todo custo e só o tempo dirá, pelas evidências acumuladas e pelo poder preditivo, qual delas é a melhor. E ainda, várias teorias podem se integrar na explicação de certo metafenômeno (e.g., Teoria de Evolução associada à Deriva Continental por Tectônica de Placas) fornecendo maior credibilidade a certa ideia.

Desde o aparecimento da Filosofia entre os jônios, no séc. IX a.C., os filósofos atentaram para o fato de que haveriam princípios explicativos subjacentes à natureza sem a necessidade do uso de argumentos místicos e teológicos. Esses princípios, válidos em qualquer tempo e local, fornecem previsões aplicáveis dando ao homem domínio sobre fenômenos naturais. Com isso, começamos a ter as chamadas *leis naturais*.

Ao contrário da percepção popular de *lei*, como um enunciado prescritivo, em ciência lei adquire *status* descritivo. A primeira formulação explícita desse conceito é atribuída ao filósofo francês René Descartes (1596-1650), no século XVII. Ele era deísta, acreditava que Deus podia intervir na natureza, exceto nas leis que Ele mesmo criou.

Formalmente, de acordo com NAS (1998), uma *lei natural* é:

Uma generalização a respeito de como alguns aspectos do mundo natural se comporta sob um estado de circunstâncias. [tradução nossa].

Curiosamente, a existência de *leis naturais indiferentes* não poderia escapar do alvo de ataque obscurantista. Em 1277, o bispo Tempier de Paris, obedecendo às instruções do papa João XXI, publicou uma lista contendo 219 heresias que deveriam ser condenadas. Entre elas

constava aquela que afirma que a natureza segue leis, independentemente da onipotência divina (HAWKING e MLODINOW, 2011). Mas, logo depois, a ideia de violação de uma lei por intervenção divina seria admitida pelas correntes religiosas teístas e receberia o nome de *milagre* (e.g., estátuas que sangram, imagem estampada em hóstia, *vide* MAGNANI, 2005).

O marquês de Laplace (1749-1827) é considerado o pai do *determinismo científico* (HAWKING e MLODINOW, 2011). Argumentava que as órbitas dos planetas sofrem perturbações cíclicas, mas que o sistema solar daria conta do problema por conta própria, sem necessidade de intervenção divina. Um conjunto completo de leis determinaria tanto o futuro quanto o passado. Assim, Laplace contribuiu para aquilo que entendemos hoje por ciência moderna em que o sobrenatural é dispensável como explicação.

De acordo com o que foi exposto, podemos concluir que ciência é bastante crítica quanto ao conhecimento gerado. Não há razão para acusar a ciência de arrogância. É apenas um *método explícito*, com regras bem estabelecidas, para a análise e explicação de fatos ou fenômenos. É capaz de rever seus conceitos e mudar de posição desde que haja uma boa justificativa para isso, ou seja, boas ideias e boas evidências.

Tipos de ciências e a questão da historicidade

Ciência é dramaticamente heterogênea. Podemos ter formas brandas (“soft”, mais flexíveis e pouco preditivas, e.g., psicologia, sociologia) ou duras (“hard”, mais explicativas e preditivas, e.g., biologia molecular, física, química) de ciência, dependendo do grau de acomodação de pretensas áreas do conhecimento aspiram entrar para o “clube da ciência” (PLATT, 1964; PIGLIUCCI, 2013). Formas diferentes de se classificar as ciências têm reflexo na percepção ou interpretação da teoria evolutiva.

Por outro lado, há um subjetivismo subjacente na escolha entre os resultados empíricos acumulados das ciências “hard” e das “soft”. Apesar da confiabilidade dos dados poder ser equivalente, as capacidades de *explicação* e *predição* podem ser bastante díspares. E fatores externos, de ordem psicológica e social, podem estar envolvidos.

O limite entre “soft” e “hard” é arbitrário e, com o tempo, pode haver intercambiamento entre ambas. Talvez uma solução para o impasse seja a adoção da

metodologia dos programas de investigação científica nos moldes de Imre Lakatos (1977, 1987), em que se assume um *núcleo central sólido* (“hard core”) de uma teoria (podendo este ser testável ou não), reúnem-se hipóteses auxiliares em torno desse núcleo e avalia-se a capacidade de predição. A separação fica a cargo do valor heurístico da teoria. Permanece aquela que possui maior *poder de explicação*. Na prática, é a que exhibe menos explicações *ad hoc*, menos elementos metafísicos (impeditivos na geração de predições) e conjecturas intratáveis no seu conteúdo.

Pseudociências pecam pela falta de dados empíricos acumulativos e por apresentar poder de explicação praticamente nulo. Tendem a se dissolver como castelos de areia (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, *in press*), permanecendo somente como crença. Por exemplo, considere o caso do *Projetista Inteligente* (“*intelligent design*”), invocado como alternativa para a teoria evolutiva a ser apresentada nas salas de aula. Nada de novo surgiu desde a exposição original do argumento feita pelo reverendo William Paley, em 1802. O que existe desde então é a recorrente tentativa de se apresentar algo que sustente uma crença religiosa. Em contraste, desde a publicação de *The Origin of Species*, por Charles Darwin, em 1859, o que se viu foi uma avalanche de argumentos e provas a favor da ideia de evolução.

Uma análise mais aprofundada das categorizações das ciências—sintoma da disputa entre elas por *status* na comunidade científica—é relevante na avaliação do próprio *status* dos objetos de estudo da biologia evolutiva empírica e teórica.

Alguns filósofos da ciência (e.g., BUNGE, 1985) costumam dividir as ciências em:

i) *Formais* (i.e., matemática, lógica)—aquelas que lidam com *ideias e não com fatos*; usam enunciados consistentes, com relações coerentes entre si e derivação lógica, de modo que a transição entre um enunciado e outro é baseada em regras demonstrativas (e.g., teorema de Pitágoras);

ii) *Factuais* ou *empíricas* (e.g., física, química, sociologia, economia)—aquelas que lidam com *fenômenos observáveis direta ou indiretamente, com possibilidades de incluir protocolos experimentais e realizar inferências*. Nessas ciências, há total interação entre ingredientes teóricos e empíricos. Inclui métodos indutivos e dedutivos na análise dos fatos.

As *ciências factuais* dividem-se em: (a) *naturais* (e.g., geologia, química, biologia) e (b) *culturais* (e.g., sociologia, psicologia social, economia).

Entre as *factuais naturais*, temos as *nomotéticas* (=atemporais), que lidam com classes de objetos, buscando *evidências empíricas positivas* através de *observações diretas* e *experimentos*, criação de hipóteses e condições de teste. Havendo a possibilidade de ser *aferir* por repetição, descortinam-se *padrões replicados*, e assim verificam-se as suas probabilidades de ocorrência que, em última instância, correspondem às próprias *predições empiricamente testáveis*. Buscam *enunciados categóricos universais* através de detecção de classes de fenômenos (i.e., tipos naturais, q.v.).

As *ciências factuais naturais históricas* (idiográficas; HULL, 1987; FRODEMAN, 1995) lidam com fatos ou fenômenos por inferências deixadas por pistas, vestígios, provas remanescentes do passado remoto. Buscam reconstruir o passado através de *retrodições* (i.e., hipóteses elaboradas para se recuperar informação de eventos pretéritos, análogas àquelas de um detetive criminalista ao tentar desvendar um assassinato); em geral, estão envolvidas com indivíduos naturais (q.v.).

No século XX, duas correntes distintas de pensamento da Filosofia da Ciência ocidental emergiram (FRODEMAN, 1995):

- a) *Analítica* (=Positivismo lógico)
- b) *Continental*

As diferenças de abordagens quanto à natureza e o escopo do conhecimento científico são bastante evidentes. A primeira defende que: (a) todo conhecimento disponível é exclusivamente derivado de método científico; (b) a investigação científica consiste de um protocolo identificável de argumentos dedutivos e indutivos distinto de outras formas do saber. Seus defensores (e.g., Bertrand Russell, Arthur Carnap) argumentam que o método científico é caracterizado por:

- 1) *Objetividade* (i.e., a descoberta da “verdade” científica está livre de convicções pessoais, ideológicas e metafísicas – separação entre fato e valor);
- 2) *Empirismo* (i.e., construído com forte distinção entre fato e teoria);

3) *Monismo epistemológico*—assume-se que ciência é um único conjunto identificável de procedimentos lógicos aplicável a todas as áreas de estudo.

Mas, a objetividade preconizada pelos filósofos analíticos, com suposta distinção entre a *lógica da descoberta* e a *lógica da explicação*, recebeu várias críticas, pois o processo estaria sempre vulnerável às intervenções culturais e convicções pessoais (FRODEMAN, 1995). Fora isso, o monismo epistemológico levou a uma visão *reducionista extrema*, desprezando uma perspectiva dita *pluralista*.

A proposta alternativa ao *positivismo lógico*, conhecida como abordagem *continental*, sustenta que:

- a) Ciência é uma entre várias formas de acesso à realidade;
- b) Método científico dos positivistas lógicos (e.g., hipotético-dedutivo) é um mito; há formas alternativas válidas de obtenção de conhecimento (e.g., dialética, hermenêutica).

A abordagem continental preocupa-se muito mais com o legado deixado pelo conhecimento científico, comparando-o com outras formas de conhecimento e experiências (e.g., artes). Ciências “soft” (e.g., psicologia, economia, sociologia) foram beneficiadas pelo flexionamento e relativismo gerados por esse enfoque, colocando-as em pé de igualdade com as do tipo “hard” (e.g., química, física e biologia).

Uma visão contemporânea aponta uma tendência de se considerar que as nossas *percepções* estão vinculadas às nossas *concepções* (FRODEMAN, 1995). Essa postura — dita *hermenêutica* — indica que o conhecimento é puramente interpretativo, sendo o objeto detectado sempre moldado de acordo com a maneira pela qual o percebemos. O contexto nos remete a inspeção de uma obra de arte pela primeira vez. Mesmo com forte apelo visual, nada significa para o iniciando, a não ser que alguém já iniciado indique o que se deve ver. Assim, um misto de percepção e conceito é fundamental para o entendimento humano. Os objetivos dos filósofos hermenêuticos são bem distintos daqueles ditos analíticos. Estão particularmente interessados nas *condições necessárias* para que ocorra o *entendimento* e daí, a aquisição do conhecimento.

Os filósofos hermenêuticos adotam três conceitos fundamentais (HEIDEGGER, 1962):

a) *Círculo hermenêutico* — a noção de que o entendimento é um processo circular, com o significado das partes entendido de sua relação com o todo e a concepção do todo, construída a partir do entendimento das partes. O conhecimento começaria com o desenvolvimento de uma primeira concepção do significado geral do objeto de estudo. De lá criáramos a referência para revisar partes em relação ao todo e de suas partes individualmente;

b) *Pré-julgamento* — o “não livre-arbítrio”; a noção que todos os cientistas estão contaminados inevitavelmente com ideias preconcebidas, incluindo expectativas de certas respostas e antecipação de instrumentos usados na investigação;

c) *Natureza histórica do conhecimento* — metas e premissas assumidas conduzem a descoberta de certos fatos, mas não outros; ciência é uma atividade histórica e social moldada por repertório teórico e metodológico da área de conhecimento em questão e seu ambiente cultural.

Tipos e indivíduos naturais e o dilema do conceito de espécie no contexto evolutivo: um caso para a Filosofia da Ciência

As ciências factuais nomotéticas lidam predominantemente com *tipos naturais* ou *classes de objetos*. Em geral, dão ênfase à descrição de *processos* ou *mecanismos* (NELSON e PLATNICK, 1981; AMORIM, 2011). Das classes discriminadas são extraídas as *leis naturais*, aqueles enunciados descritivos quanto ao que *precisa ser* ou *do que não pode ser o caso* para inclusão na classe (CARNAP, 1966). Essas leis naturais obedecem à mesma estrutura lógica de um *enunciado categórico universal*.

Dentro da assumida realidade objetiva *tipos naturais* carecem de contexto espaço-temporal que tanto caracterizam os chamados *indivíduos naturais*, objeto de estudo principal das *ciências factuais históricas* (e.g., Evolução) (HULL, 1987).

Considere o ouro, elemento químico de número atômico 79, conhecido como tal na natureza independentemente de sua história pregressa ou origem. Se certas exigências físico-químicas (e.g., densidade, massa atômica, ponto de fusão) são cumpridas, como numa análise técnica refinada, pode-se atribuir uma amostra de pepita à classe de objetos chamada ouro (Au), encaminhar hipóteses e fazer generalizações. Ouro, nesse caso, é um *tipo natural*.

Agora, considere outro exemplo: o estilo musical *rock and roll*. Ouvindo esta ou aquela faixa musical, atentando para ritmo e melodia, pode-se classificá-la como *rock* e não como samba, tango ou *hip hop*. Nesse contexto, *rock* também é um *tipo natural*. Por outro lado, se alguém falar em particular de *rock progressivo*, está se referindo a uma *instância* do *rock* surgida no final dos anos sessenta e que se estendeu até o final da década de 1970 (ZOPPO, 2011). Está restrito no tempo e no espaço. Tem *origem*, *desenvolvimento* e *extinção*. Pode ser dividido em *partes* (facções ou subconjuntos) que contribuíram para a *coesão* do todo. Portanto, trata-se de *indivíduo natural*, como qualquer organismo individual ou espécie de planta ou animal.

No contexto biológico, espécie possui atributos diferentes de objetos inanimados (e.g., não faz sentido falar de especiação de parafusos). Mas, por outro lado, apresentam propriedades de classe (i.e., *tipos naturais*) e indivíduo (i.e., *indivíduos naturais*) (HULL, 1987).

Podem ser reunidas em classes, para as quais seus membros devem ter certas propriedades designadas pelo homem. Conforme o critério, assinala-se a esta ou aquela classe. É assim que as espécies são tratadas nas chaves de identificação. Enquanto tratadas como *tipos naturais*, são usadas como categoria basal da classificação biológica.

Ao se revelarem as propriedades de classe, o grupo é reconhecido e a ele dado um nome de modo a separá-lo de outros próximos. Em consequência lógica, constitui classe com outras espécies numa hierarquia de grupos inclusos definidos por caracteres compartilhados. A explicação para o padrão hierárquico é a evolução. Com isso, começa o dilema do conceito de espécie, ou seja, quando é referida como *unidade evolutiva*.

Mesmo sendo uma classe da *hierarquia lineana* (e.g., *Homo sapiens*), qualquer instante (i.e., *eidofronte*) da história da espécie exibe restrição no tempo e no espaço, algo típico de um *indivíduo natural*. O mesmo acontece com a sua área de distribuição geográfica -- a sua "sombra" (i.e., *nemofronte*) (cf. ZUNINO e ZULLINI, 1995). Ela surge com a espécie emergente, transforma-se ao longo do tempo (retraindo-se ou expandindo-se) e desaparece, acompanhando a própria extinção da espécie.

Esse dualismo da espécie biológica (classe-indivíduo) e da sua área de distribuição é assunto não só para o biólogo, mas também para o filósofo da ciência. Envolve questões ontológicas além das análises técnicas da Sistemática Biológica e da Biogeografia, dois dos pilares da Biologia Histórica (=Biologia Comparada) (MORRONE, 2009; AMORIM, 2011).

A ontologia do conceito de *espécie* é pré-requisito importante não só para avaliarmos sua *realidade objetiva* quanto para o entendimento de processos evolutivos subjacentes que acreditamos existir (NELSON, 1989).

Dependendo do conceito adotado, muda-se a perspectiva quanto a sua própria *teoria de origem*: a *especiação*. A questão fundamental é de *esfera ontológica*: espécies são entidades reais ou abstrações?

As opiniões divergem quanto ao *objeto de estudo*, num contínuo entre correntes de pensamento *nominalista* (i.e., espécie é um artefato ou abstração; na natureza só existem indivíduos identificáveis) e *essencialista* (i.e., espécies possuem *realidade* e correspondem a classes descobertas por caracteres).

Na natureza, uma análise minuciosa de uma aglomeração de mosquitos pode servir de ponto de partida para uma experiência empírica pessoal quanto à avaliação da realidade do que vem a ser uma espécie. Diante dessa “nuvem” de incômodos dípteros nematóceros, é inevitável perceber que, de praxe, machos e fêmeas reconhecem os indivíduos que são do *mesmo tipo* por sinalização química e/ou repertório comportamental, a ponto de se acasalarem e produzirem descendentes. Formam uma comunidade reprodutiva coesa, comportando-se como *unidade discreta* na natureza, descoberta por técnicas particulares. Sua existência independe da nossa capacidade em reconhecê-la. Se já não é conhecida pela ciência, uma vez percebida sua existência, formalmente um nome científico lhe é atribuído de acordo com um código de nomenclatura em associação com uma hipótese de que corresponde a uma *entidade natural* (HULL, 1987; HULL e RUSE, 1998).

Espécies, do ponto de vista científico, não surgiram na Terra por evento pontual de criação divino, como nos quer fazer crer os criacionistas. Não são entidades nem permanentes nem imutáveis; tampouco são perfeitas. Surgiram da Terra por *especiação*, um processo complexo que compreende: *isolamento* (genético, ecológico ou geográfico), *divergência*, *diferenciação* e *identidade* (MAYR, 1970, 2005; COYNE, 2004, 2014).

A última etapa, a de aquisição de *identidade*, é determinante. A *especiação* pode ser lenta e gradual – com predomínio da *seleção natural* – ou repentina e rápida – com predomínio de fatores estocásticos (ELDREDGE, 1989; OTTE e ENDLER, 1989; COYNE, 2004, 2014).

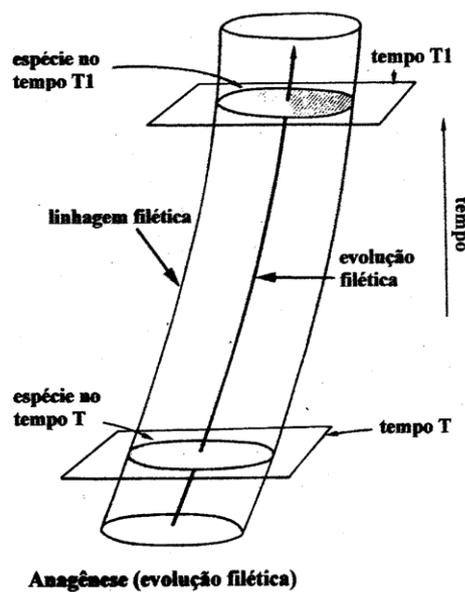
A questão da identidade, subjacente a ontologia da espécie, pode ser ilustrada usando-

se as planárias como modelo (SHOMRAT e LEVIN, 2013). Esses vermes turbelários possuem alto poder de regeneração quando mutilados ou decepados. Dois pedaços, independentemente do tamanho, vão regenerar dois indivíduos, com histórias e tendências próprias. Temos um problema ontológico: a partir de qual momento pode-se dizer que temos dois indivíduos ao invés de dois pedaços dele?

Considerando o exemplo das planárias, há um interesse sobre a condição em que uma espécie *adquire identidade própria* e deixa de ser *parte* da espécie ancestral. A quebra desse contínuo é um problema ontológico e epistemológico que levou a proliferação de diversos conceitos de espécie.

O evento de *cladogênese*—o rompimento da uma linhagem evolutiva—, não coincide com a aquisição imediata de identidade; não é sinônimo de especiação. Divergência e diferenciação também estão envolvidas no processo. Há necessidade de algum critério objetivo (e.g., aparecimento de *novidade evolutiva* 100% fixada nas populações, um *autapomorfia*) que permita distinguir no processo de divergência e diferenciação o instante da aquisição de identidade própria (WILKINS, 2009).

Figura 4. Anagênese (=evolução filética). Considera-se que uma linhagem populacional exibe propriedades ontológicas equivalentes aos de um indivíduo natural, com origem, desenvolvimento e morte.



Fonte: Modificado de W. J. Bock (1979).

Ao surgirem de espécie precedente (=ancestral), a espécie descendente cumpre sua *anagênese* (i.e., *evolução filética* — história contínua e coesa de linhagem evolutiva; Fig. 4) adquirindo identidade própria, em consequência da interface *cladogênese-especiação*. No caso das espécies de reprodução sexuada e de relativa vagilidade, o mecanismo de coesão está a cargo do *fluxo gênico* (OTTE e ENDLER, 1989). Quanto maior for o fluxo gênico menor a chance de divergência e diferenciação. Mas, em outras, ditas sésseis, nota-se o papel determinante da *homeostase epigenética* — um estável e conservador programa interativo envolvendo genética, desenvolvimento e ambiente (GOULD, 1977).

Assumindo esses processos filogenéticos subjacentes (i.e., anagênese, cladogênese e especiação), espécies podem ser conceituadas como: *linhagens que evoluem independentemente de outras linhagens no tempo e no espaço e que apresentam identidade própria* (WILEY, 1980; 1981; WILEY e LIEBERMAN, 2011).

O fim de uma linhagem evolutiva é a *extinção* que, por sua vez, pode ser um processo *gradual* (e.g., através perdas graduais de habitats e populações) ou *súbito* (e.g., colisão de asteroide em sítio específico) ou uma combinação desses (WARD, 1997).

Através da quantidade de mudanças acumuladas no genoma (e.g., substituição de nucleotídeos) ou alometria comparada (em geral, usada quando há somente fósseis disponíveis) pode-se determinar se a *taxa* (=velocidade) de evolução foi lenta (*braditélica*), nula (*estasiogênese*) ou rápida (*taquitélica*) na história da linhagem evolutiva (SIMPSON, 1944, 1953; ELDREDGE, 1989). Por terem história própria, as linhagens evolutivas sofrem mudanças oscilatórias, com períodos de maior ou menor rapidez nas taxa de evolução, em escala fractal, com períodos de maior ou menor prosperidade, como na história da vida de uma pessoa.

Por esses aspectos tão particulares, torna-se difícil enquadrar espécie naquelas propriedades estáticas, típicas de *classe* e, com isso, obter-se generalizações preditivas inerentes às ciências factuais nomotéticas, com a formalização de enunciados gerais (*universais*) sob a forma de *leis naturais*.

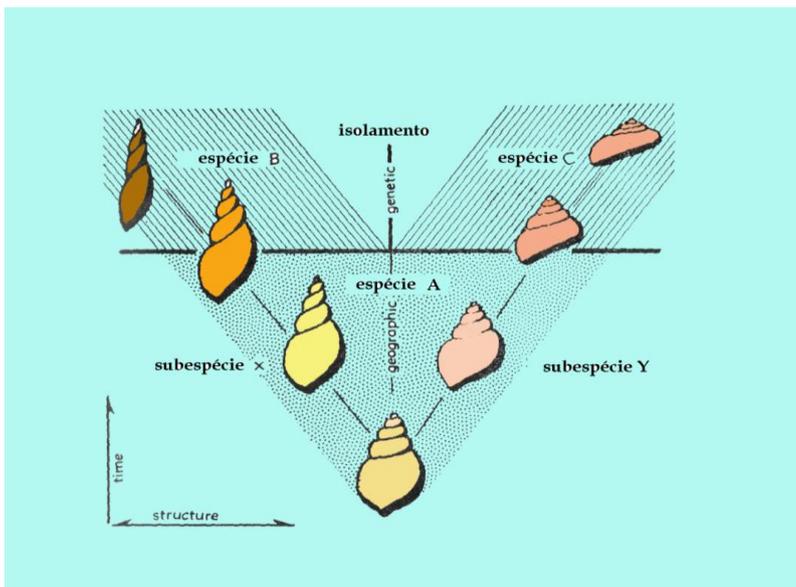
Os conceitos de espécie podem ser classificados didaticamente em dois tipos: aqueles com ênfase a *padrão* (i.e., operacionais, práticos, heurísticos) e aqueles com ênfase a *processo* (i.e., teóricos) (SMITH, 1994).

O conceito de espécie mais aceito é o biológico (=reprodutivo) de Ernst Mayr (1942):

[...] espécies são grupos de populações naturais real ou potencialmente intercruzantes, que são reprodutivamente isolados de grupos equivalentes. [p. 120; tradução nossa]

O critério usado na distinção dá maior peso à compatibilidade reprodutiva de espécies formadoras de populações propriamente ditas. Lida com linhagens populacionais. É um conceito nomotético.

Figura 5. O conceito biológico de espécie tem como corolário especiação como um processo crescente de aquisição de isolamento reprodutivo. Em função disso, conceitos auxiliares surgiram: *semiespécie* (espécie incipiente), *subespécie* (raça geográfica) e *superespécie* (conjunto de semiespécies). E o conceito de *pseudoespécie* surgiu como contrapartida *ad hoc* para o conceito usual de espécie populacional, reunindo organismos de reprodução assexuada.



Fonte: Modificado de Moore, Lalicker e Fischer (2003).

Para Mayr (1942, 2001, 2005, 2008), a especiação é vista como um processo gradual de aquisição de isolamento reprodutivo (Fig. 4). Objetivamente, há isolamento reprodutivo: é espécie distinta. No entanto, há problemas quanto à aplicabilidade. O critério de compatibilidade reprodutiva é inaplicável a organismos assexuados (i.e., formam de clones),

aos conhecidos só por fósseis (como cruzar trilobitas?) e os partenogenéticos. E pelo fato de microrganismos unicelulares assexuados não se enquadrarem no conceito de Mayr (1942), relegou-se cerca de 2/3 dos seres vivos à condição obscura de *pseudoespécies*, uma solução do tipo “tampa-buraco”.

Outros conceitos de espécie correlatos (e.g., metapopulação, reconhecimento, coesão), baseados em processos ou mecanismos, surgiram em socorro do conceito de Mayr, como explicações *ad hoc* (i.e., de caráter protetor, formuladas para livrar uma hipótese do confronto).

Apesar dos problemas, o conceito de Mayr segue firme e forte, mostrando-se bastante resiliente. Continua a ser amplamente empregado, de forma conveniente, entre os microevolucionistas (e.g., genética de populações, filogeografia, cf. AVISE, 2000), ainda com o uso de conceitos auxiliares (e.g., *subespécie*, *semiespécie* e *superespécie*) (cf. FOREY, 1981; MAYR, 1942, 2005).

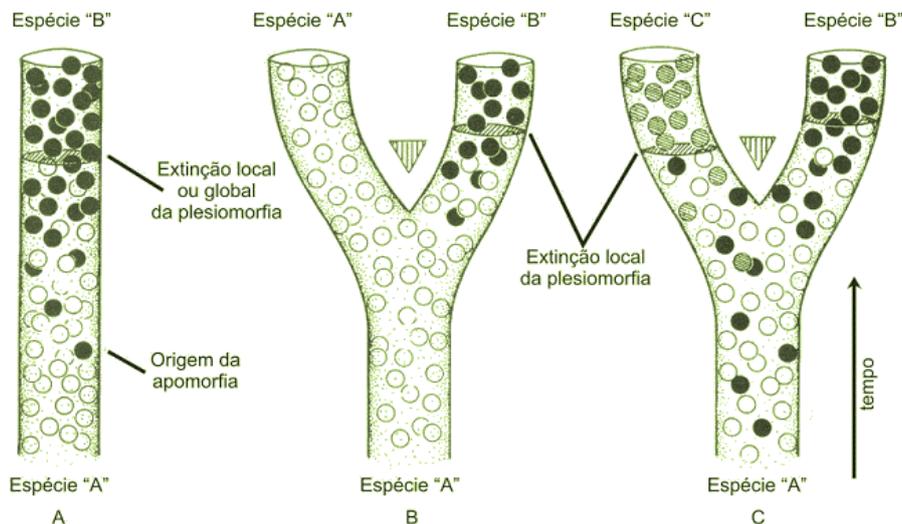
Mas, com o objetivo de tornar o conceito de espécie mais objetivo e operacional, surgiram as propostas *heurísticas*, ditadas por padrão.

Na década de 1970, a *Taxonomia Numérica* (SOKAL e CROVELLO, 1970), assumiu uma postura nominalista extrema, utilizando UTOs (i.e., unidades taxonômicas operacionais) – qualquer aglomerado de indivíduos percebido por similaridade não ponderada de caracteres – como objetos de estudo de classificações biológicas. Com isso, queriam desvincular classificação de evolução. Questões associadas a processos evolutivos (e.g., ancestralidade comum, especiação, anagênese) foram colocadas de lado. A praticidade foi priorizada em detrimento de questões evolutivas subjacentes, consideradas cientificamente intratáveis pelos feneticistas. Nesse contexto histórico da Biologia, a possibilidade de trabalhar na classificação das espécies sem o “fantasma ateuista” do evolucionismo, atraiu vários cientistas religiosos para a área da Taxonomia.

Com o advento da sistemática filogenética de Willi Hennig (1913-1976), deu-se uma revolução na Sistemática Biológica. A princípio, as ideias principais de Hennig (e.g., relação de parentesco por ancestral comum, sinapomorfia, monofiletismo, classificação filogenética) estavam em sintonia com a vigente Teoria Sintética de Evolução (HENNIG, 1968; NELSON e PLATNICK, 1981; WILEY e LIEBERMAN, 2011). Seu conceito de espécie é complementar ao de

Mayr (1942), mas colocando-a em contexto histórico (temporal) e vinculando-a ao uso dos cladogramas. Elas estariam entre um nó e outro do cladograma e se dissolveriam durante o evento de especiação (*vide* MEIER e WILLMAN, 2000).

Figura 6. O conceito filogenético de espécie de Wheeler e Platnick (2000) tem como base a transformação de estados de caracteres na história das linhagens. Repare que, segundo o conceito, novas espécies podem surgir em consequência do fim do polimorfismo e da *plesiomorfia*, fixando-se completamente a autapomorfia que se torna constante (passa a ser um caráter). Enquanto houver o polimorfismo ainda temos traços fenotípicos entre populações da espécie ancestral. O conceito abre a possibilidade da coexistência entre espécie ancestral e filha após a cladogênese. Além disso, admite o aparecimento de novas espécies via evolução filética.



Fonte: Modificado de Kichlat (2005) baseado em Wheeler e Platnick (2000).

Aos poucos houve uma tendência para a aceitação de novos conceitos de espécie, ainda mais operacionais, tais como o *filogenético* (WHEELER e PLATNICK, 2000) e o *monofilético* (QUEIROZ e DONOGHUE, 1990).

O primeiro (Fig. 6) conceitua espécie como *o menor agrupamento de organismos autopetuentes reconhecido por um conjunto único de caracteres*.

O segundo trata espécie como o *menor agrupamento reconhecido por autapomorfias* (novidades evolutivas não compartilhadas).

A adoção de um ou outro conceito implica na revisão do *status* ontológico da própria espécie (WINSTON, 1999; WILKINS, 2009) segundo o modelo adotado. Por exemplo, compatibilidade reprodutiva é um atributo primitivo (i.e., plesiomórfico) na história de uma linhagem evolutiva, ao contrário da incompatibilidade, que é uma *novidade evolutiva* (i.e., apomorfia) (ROSEN, 1979). Na especiação, qualquer uma das condições pode ser herdada, mas só a segunda sinaliza de forma objetiva a aquisição de identidade. Mas, outros caracteres, igualmente objetivos e independentes do isolamento reprodutivo, podem ser utilizados nessa sinalização.

Sendo assim, espécies descritas como *politípicas*—divididas em *subespécies*, com populações isoladas geograficamente, diferentes na morfologia, fisiologia e comportamento, mas retendo compatibilidade reprodutiva—, admitidas pelos partidários do *conceito biológico* de Mayr e suas derivações, necessitam de revisão. Como resultado, esperar-se-á que a subespécie seria elevada à condição de espécie. E a *Sociologia da Ciência* (cf. HULL, 1987) poderia entrar em ação para tentar explicar por que há grupos taxonômicos de animais onde as subespécies “estão em extinção” (e.g., peixe e insetos) e outros (e.g., aves e mamíferos) onde ainda gozam de reputação.

Conclui-se que uma discussão sobre diferentes propostas quanto ao melhor conceito de espécie é uma demonstração clara do exercício da prática do intelectualismo no âmbito científico, onde o que importa é o compromisso com a verdade, doe a quem doer (SHERMER, 2006, 2011). Confronto de ideias e a troca de impressões são vistos como extremamente salutares na comunidade científica. Têm como objetivo de esclarecer questões ontológicas e epistemológicas. Nada de “pisar em ovos”. Afinal, o biólogo necessita ter conhecimento sobre o *status* de seu principal objeto de estudo para não ter o risco de estar lidando com objetos imaginários e conceitos abstratos, fora da realidade objetiva.

CONCLUSÕES

Uma análise crítica das teorias científicas à luz dos diferentes tipos de ciências permite demonstrar que, mesmo com diferentes enfoques, destaca-se a posição diferencial da ciência em relação a outras formas de conhecimento, como disse Carl Sagan (2000): “nosso bem mais precioso”. E as teorias são fundamentais na compreensão da realidade objetiva. Nesse contexto, a teoria evolutiva se destaca como legitimamente científica, encaminhando previsões testáveis e acumulando evidências a favor. No sentido de Lakatos (1977, 1987), trata-se de um programa de investigação científica progressivo. Mesmo com diversas questões pendentes quanto ao processo evolutivo (cf. FOREY, 1981; NELSON e LADIGES, 2009; MORRONE, 2003; SOBER, 2008, 2011) segue sendo a melhor explicação que temos sobre a história da biodiversidade em nosso planeta (PIGLIUCCI, 2007; SHERMER, 2006). Tem demonstrado ser bastante resiliente, acomodando novidades que levam a revisões de casos específicos (e.g., ELDREDGE, 1985; GOULD, 2002; CARROLL, 2006; JABLONKA e LAMB, 2010; PIGLIUCCHI e MÜLLER, 2010; SOBER, 1993, 2008, 2011). Como não poderia deixar de ser: Evolução também evolui.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Josimar Ribeiro de Almeida e Clarissa Canedo pela leitura crítica do texto e sugestões. Anja Cerri contribui na elaboração dos resumos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. **Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e as suas regras**. 7ª. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2003.
- AMORIM, D.S. **Fundamentos de Sistemática Filogenética**. Ribeirão Preto: Holos, 2011.
- ARMSTRONG, K. **A Bíblia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2002.
- AVISE, J.C. **Phylogeography: The history and formation of species**. Cambridge: Harvard University press, 2000.
- AYALA, F. J. **Darwin y el Diseño Inteligente: Creacionismo, Cristianismo y Evolución**. Trad. Miguel Angel Coll. Madrid: Alianza Editorial, 2006.
- BAUMAN, Z. **Intimations of Postmodernity**. London and New York: Routledge, 1992.

- BAUMAN, Z. **Vida líquida**. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.
- BLEIDORN, C. **Phylogenomics: An Introduction**. Cham: Springer, 2017.
- BOCK, W.J. The synthetic explanation of macroevolutionary change —a reductionistic approach. In: J.H. Schwartz and H.B. Rollins (eds.), *Models and Methodologies in Evolutionary Theory*. **Bull. Carnegie Mus. Nat. Hist.** 13: 20-69, 1979.
- BUNGE, M. **La Investigación Científica**. 2ª. ed. Barcelona: Ariel, 1985.
- CALLAHAN, T. **Secret Origins of the Bible**. Altadena: Millenium Press, 2002.
- CARNAP, R. The Value of Laws: Explanation and Prediction. p. 12-16 In M. Gardner (Ed.) **Philosophical Foundations of Physics**. New York: Basic Books, 1966.
- CARROLL, S.B. **The making of the fittest: DNA and the ultimate forensic record of Evolution**. New York: W.W. Norton and Co., 2006.
- CARROLL, S.B. **Endless Forms Most Beautiful**. London: Quercus Publishing, 2011
- CHALMERS, A. **O que é Ciência afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.
- CHAMBERLIN, T.C. Studies for students: the method of multiple working hypotheses. **Journal of Geology** 5(8): 837-848, 1897.
- CHIAVENATO, J.J. **Religião: da origem à ideologia**. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2002.
- CIVITA, V. (Ed.). **Hume: Vida e Obra**. São Paulo: Abril Cultural, 1999.
- CLELAND, C. E. Historical science, experimental science, and the scientific method. **Geology**, 29: 987-990, 2001.
- COYNE, J.E. **Speciation**. Sunderland, MA: Sinauer, 2004.
- COYNE, J.E. **Por que Evolução é uma verdade**. São Paulo: JSN Editores, 2014.
- DARWIN, C. R. **The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. 6th edition. Chicago: Encyclopedia Britannica, [1872]1952.
- EHRMAN, B.D. **Que Jesus disse? O que Jesus não disse?** Rio de Janeiro: Pocket Ouro, 2005.
- EHRMAN, B.D. **Evangelhos Perdidos: As batalhas pela escritura e os cristianismos que não chegamos a conhecer**. São Paulo: Editora Record, 2008.
- ELDREDGE, N. **Unfinished Synthesis: Biological hierarchies and modern evolutionary thought**. New York: Oxford University Press, 1985.
- ELDREDGE, N. **Macroevolutionary Dynamics: Species, Niches and Adaptive Peaks**. New York: McGraw-Hill, 1989.
- ELDREDGE, N. **Reinventing Darwin: The great evolutionary debate**. London: Orion Books, 1995.
- ELDREDGE, N. **O Triunfo da Evolução**. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2010.
- EVANS, B. **História Natural da Tolice**. Rio de Janeiro: Ed. Vecchi, 1952.
- FERRAGUTI, M.; C. CASTELLACCI. **Evoluzione: Modelli e Processi**. Milão: Pearson Italia, 2011.
- FIGUEIREDO, F.J.; OLIVEIRA, L.A. Filosofia da Ciência e Evolução: Parte 1. Por que ciência? **Sustinere** (*in press*),

2020.

FINKELSTEIN, I.; SILBERMAN, N.A. **A Bíblia não tinha razão**. São Paulo: Girafa Editora, 2003.

FOREY, P. (Ed.) **The Evolving Biosphere: Chance, change and challenge**. London: BMNH-Cambridge University Press, 1981.

FRIEDMAN, R.E. **Who wrote the Bible?** New York: HarperCollins, 1997.

FRODEMAN, R. Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical Science. **GSA Bulletin**, 107(8): 960-968, 1995.

FUTUYMA, D.J. **Biologia Evolutiva**. Ribeirão Preto: SBG, 1993.

FUTUYMA, D.J. **Science on Trial: the case for evolution**. Sunderland, MA: Sinauer, 1995.

GEE, H. **In Search of Deep Time: Beyond the Fossil Record to a New History of Life**. Ithaca: Cornell University Press, 1999.

GOULD, S.J. **Ontogeny and Phylogeny**. Cambridge: Belknap Harvard, 1977.

GOULD, S.J. **The Structure of Evolutionary Theory**. Cambridge: Belknap Press, 2002.

GRAVES, R.; PATAI, R. **O Livro do Gênesis: Mitologia Hebraica**. Rio de Janeiro: Xenon, 1994.

GREGORY, T.R. Evolution as fact, theory, and path. **Evo Edu Outreach**, 1:46-52, 2008.

GRENZ, S.J.; GURETZKI, D.; NORDLING, C.F. **Dicionário de Teologia**. São Paulo: Editora vida, 2000.

HAWKING, S.; MLODINOW, L. **O Grande Projeto: Novas Respostas para as Questões Definitivas da Vida**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2011.

HEIDEGGER, M. **Being and time**. New York: Harper and Row, 1962.

HENNIG, W. **Elementos de Sistemática Filogenética**. Buenos Aires; EDUEBA, 1968.

HOFSTADTER, R. **Social Darwinism in American Thought**. Philadelphia: University of Pennsylvania Press., 1944.

HULL, D. **Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science**. Chicago and London: The University of Chicago press, 1987.

HULL, D.; RUSE, M. (eds.). **The Philosophy of Biology**. Oxford and New York: Oxford University Press, 1998.

HUME, D. **Tratado da natureza humana**. 2ª.ed. São Paulo: UNESP, 2001.

JABLONKA, E.; M.J. LAMB. **Evolução em quatro dimensões: DNA, comportamento e a história da vida**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

JOHNSON, P.E. **Darwin on Trial**. Downers Grove: InterVarsity Press, 1991.

KISCHLAT, E.E. Os conceitos de espécie: uma abordagem prática. **Caderno La Salle XI**, Canoas, 2(1): 11-35, 2005

KUHN, T.S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: The University of Chicago Press, 1970.

LAKATOS, I. Science and Pseudoscience. In **Philosophical Papers**, vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

LAKATOS, I. Falsification and the Methodology of scientific. Research Programmes. pp. 91-196. In: LAKATOS,

- I.; MUSGRAVE, A. (eds.) **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- LOSEE, J. **Introdução Histórica à Filosofia da Ciência**. São Paulo: Editora Itatiaia e EDUSP, 1979.
- MACBETH, N. **Darwin retried: an appeal to reason**. Boston, Gambit Incorporated, 1971.
- MAGEE, B. **As Ideias de Popper**. São Paulo: Cultrix, 1974.
- MAGNANI, M. **Spiegare i miracoli – interpretazione critica di prodigy e guarigioni miracolose**. Bari: Edizioni Dedalo, 2005.
- MAYR, E. **Systematics and the Origin of Species**. New York: Columbia University Press, [1942] 1982.
- MAYR, E. **Populations, species and Evolution**. Cambridge: Harvard University Press, 1970.
- MAYR, E. **What Evolution is**. New York: Basic Books, 2001.
- MAYR, E. **Biologia, ciência única**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- MAYR, E. **Isto é biologia: a ciência do mundo vivo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
- MEDAWAR, P. **The Art of Soluble**. New York: Pelican Books, 1969.
- MEIER, R.; WILLMAN, R. The hennigian species concept. p.30-43. In: Wheeler, Q. e Meier, R. (eds.) **Species concepts and phylogenetic theory: a debate**. New York: Columbia, 2000.
- MILNER, R. **The Encyclopedia of Evolution: Humanity's Search for its Origins**. New York: Henry Holt, 1990.
- MOORE, R.C.; LALICKER, C.G.; FISCHER, A.G. **Invertebrate Fossils**. New York: McGraw-Hill, 1952.
- MORRONE, J. ¿Quién le teme al darwinismo? **Ciencia**: 78-88, 2003.
- MORRONE, J. **Evolutionary Biogeography: An integrative approach with case studies**. New York: Colomubia, 2009.
- NAS (National Academy of Sciences of the USA). **Teaching about evolution and the nature of science**. Washington, DC: National Academies press, 1998.
- NEIVA, E. **O Racionalismo Crítico de Popper**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1998.
- NELSON, G.; PLATNICK, N. **Systematics and Biogeography: Cladistics and Vicariance**. New York: Columbia, 1981.
- NELSON, G. Species and taxa: systematics and evolution. p. 60-81. In: Otte, D.; Endler, J.A. (eds.) **Speciation and its consequences**. Sunderland, MA: Sinauer, 1989.
- NELSON, G.; LADIGES, P. Biogeography and the molecular dating game: a futile revival of fenetics? **Bull. Soc. Geol. Fr.**, 180(1): 39-43, 2009.
- OTTE, D.; ENDLER, J.A. (eds.) **Speciation and its consequences**. Sunderland, MA: Sinauer, 1989.
- PATTERSON, C. **Evolution**. New York: Cornell University Press, 1978.
- PEQUENO, M. **10 Lições sobre Hume**. Rio de Janeiro: Vozes, 2012.
- PETERS, R. **A Critique for Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

- PIGLIUCCI, M. Do we need an extended evolutionary synthesis? *Evolution* 61: 2743-2749, 2007.
- PIGLIUCCI, M.; MÜLLER, G.B. (eds.) **Evolution: The extended synthesis**. Cambridge; MIT Press, 2010.
- PIGLIUCCI, M. **Nonsense on stilts: how to tell science from bunk**. Chicago: Chicago University press, 2013.
- PIGLIUCCI, M.; M. BOUDRY (eds.) **Philosophy of Pseudoscience**. Chicago: Chicago University Press, 2013.
- PINKER, S. **Como a mente funciona**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.
- PLATT, J.R. Strong Inference. *Science* 146: 347-53, 1964.
- POPPER, K. **Conjecturas e refutações**. Brasília: UnB, 1972.
- QUEIROZ, K. e M. DONOGHUE. Phylogenetic systematics and species revisited. *Cladistics* 6: 83-90, 1990.
- RIDLEY, M. **Evolution and Classification: The Reformation of Cladism**. New York: Longman, 1986.
- RIDLEY, M. **Evolução**. Porto Alegre: Artemed, 2006.
- RIEPEL, O.C. **Fundamentals of Comparative Biology**. Basel: Birkhauser Verlag, 1988.
- ROSEN, D.E. Fishes from the uplands and intermontane basins of Guatemala: revisionary studies and comparative geography. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 162: 267-376, 1979.
- RUSE, M. **La Revolución Darwinista**. Madrid: Alianza editorial, 1979.
- SAGAN, C. **O Mundo assombrado pelos demônios: A ciência vista como uma vela no escuro**. São Paulo: Companhia das letras, 2000.
- SHERMER, M. **Why Darwin Matters. The Case against Intelligent Design**. New York: Henry Holt, 2006.
- SHERMER, M. **Por que as pessoas acreditam em coisas estranhas?** São Paulo: JSN, 2011.
- SHOMRAT, T. e LEVIN, M. An automated training paradigm reveals long-term memory in planarians and its persistence through head regeneration. *J. Exp. Biol.* 216: 3799-3810, 2013.
- SIMPSON, G. G. **Tempo and Mode in Evolution**. New York: Columbia University Press, 1944.
- SIMPSON, G.G. **The major features of Evolution**. New York: Columbia University Press, 1953.
- SMITH, A.B. **Systematics and the fossil record: documenting evolutionary patterns**. Oxford: Blackwell, 1994.
- SMITH, P.J. **Ceticismo**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2004.
- SOBER, E. **Philosophy of Biology**. Boulder, CO: Westview Press, 1993.
- SOBER, E. **Evidence and Evolution: The Logic behind the Science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- SOBER, E. **Did Darwin write the Origin backwards? Philosophical Essays on Darwin's Theory**. Amherst and New York: Prometheus Books, 2011.
- SOKAL, R. e T. CROVELLO. The biological species concept: a critical evaluation. *Am. Nat.* 104:127-153, 1970.
- STERELNY, K.; GRIFFITHS, P. **Sex and Death: Na Introduction to Philosophy of Biology**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1999.

WARD, P. **O Fim da Evolução: extinções em massa e preservação da biodiversidade**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1997.

WHEELER, W. **Systematics: A Course of Lectures**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012.

WHEELER, Q.D; PLATNICK, N.I. The Phylogenetic Species Concept (*sensu* Wheeler and Platnick). p. 55-69. In: Q.D; Wheeler, R Meier (Ed.). **Species concepts and phylogenetic theory: a debate**. New York: Columbia University Press, 2000.

WILEY, E.O. Is the evolutionary species fiction? A consideration of classes, individuals and historical entities. **Syst. Zool.** 29: 76-80, 1980.

WILEY, E.O. **Phylogenetics: the Theory and practice of phylogenetic systematics**. New York: J. Wiley and Sons, 1981.

WILEY, E.O.; LIEBERMAN, B.S. **Phylogenetics; Theory and practice of phylogenetic systematics**. New York: J. Wiley, 2011.

WILKINS, J.S. **Species: A History of the Idea**. Berkeley: University of California press, 2009.

WILLIAMS, G.C. **Adaptation and Natural Selection**. Princeton: Princeton University Press, 1966.

WINSTON, J.E. **Describing Species: practical taxonomic procedure for biologists**. New York: Columbia, 1999.

WISE, D.U. Creationism's Geologic Time Scale. **Am. Sci.**, 86(2): 160-173, 1998.

ZOPPO, D. **Prog: una suite lunga mezzo secolo**. Roma: Arcana, 2011.

ZUNINO, M.; ZULLINI A. **Biogeografia: la dimensione spaziale dell'evoluzione**. Milano: Casa Editrice Ambrosiana, 1995.



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).