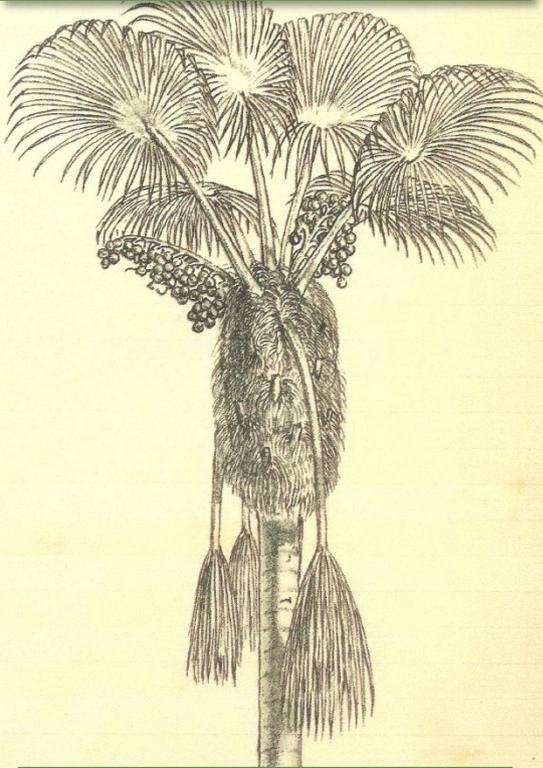


Filosofia e História da  
Biologia  
vol. 10, n° 2, 2015



Associação Brasileira de  
Filosofia e História da  
Biologia – ABFHiB

MAURITIA CARANA Ht 40 P.

# Filosofia e História da Biologia

Volume 10, número 2

Jul.-Dez. 2015

Associação Brasileira de Filosofia e  
História da Biologia – ABFHIB  
<http://www.abfhib.org>

**DIRETORIA DA ABFHIB (GESTÃO 2015-2017)**

**Presidente:** Aldo Mellender de Araújo (UFRGS)

**Vice-Presidente:** Charbel N. El-Hani (UFBA)

**Secretário:** Ana Paula Oliveira Pereira de Moraes Brito

**Tesoureira:** Maria Elice Brzezinski Prestes (USP)

**Conselheiros:** Anna Carolina Krebs P. Regner (ILEA-UFRGS)

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins (FFCLRP-USP)

Nelio Marco Vincenzo Bizzo (USP)

Ricardo Francisco Waizbort (Instituto Oswaldo Cruz)

A Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHIB) foi fundada no dia 17 de agosto de 2006, durante o *IV Encontro de Filosofia e História da Biologia*, realizado na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, SP. O objetivo da ABFHIB é promover e divulgar estudos sobre a filosofia e a história da biologia, bem como de suas interfaces epistêmicas, estabelecendo cooperação e comunicação entre todos os pesquisadores que a integram.

*Filosofia e História da Biologia*

**Editores:** Lilian Al-Chueyr Pereira Martins (FFCLRP-USP)

Maria Elice Brzezinski Prestes (USP)

**Editor associado:** Roberto de Andrade Martins (UEPB)

**Conselho editorial:** Aldo Mellender de Araújo (UFRGS), Ana Maria de Andrade Caldeira (UNESP), Anna Carolina Regner (ILEA-UFRGS), Charbel Niño El-Hani (UFBA), Douglas Allchin (UM-EUA), Gustavo Caponi (UFSC), Marisa Russo (UNIFESP), Marsha L. Richmond (WSU-EUA), Maurício de Carvalho Ramos (USP), Nadir Ferrari (UFSC), Nelio Bizzo (USP), Pablo Lorenzano (UBA, Argentina), Palmira Fontes da Costa (UNL, Portugal), Ricardo Waizbort (Instituto Oswaldo Cruz), Sander Gliboff (IU-EUA), Susana Gisela Lamas (UNLP, Argentina)

ISSN 1983-053X

# Filosofia e História da Biologia

Volume 10, número 2

Jul.-Dez. 2015



**Filosofia e História  
da Biologia**

V. 10, n. 2, jul.-dez. 2015

homepage /  
e-mail da revista:

[www.abfhib.org/FHB/index.html](http://www.abfhib.org/FHB/index.html)  
[fil-hist-biol@abfhib.org](mailto:fil-hist-biol@abfhib.org)

**ABFHiB**

Associação Brasileira de Filosofia e  
História da Biologia

Caixa Postal 11.461  
05422-970 São Paulo, SP  
[www.abfhib.org](http://www.abfhib.org)  
[admin@abfhib.org](mailto:admin@abfhib.org)

Copyright © 2015 ABFHiB

Nenhuma parte desta revista pode ser utilizada ou reproduzida, em qualquer meio ou forma, seja digital, fotocópia, gravação, etc., nem apropriada ou estocada em banco de dados, sem a autorização da ABFHiB.

Publicada com apoio da  
Fundação de Amparo à Pesquisa do  
Estado de São Paulo (FAPESP)

Direitos exclusivos desta edição:  
Booklink Publicações Ltda.  
Caixa Postal 33014  
22440-970 Rio de Janeiro, RJ  
Fone 21 2265 0748  
[www.booklink.com.br](http://www.booklink.com.br)  
[booklink@booklink.com.br](mailto:booklink@booklink.com.br)

---

Filosofia e História da Biologia. Vol. 10, número 2 (jul.-dez. 2015). São Paulo, SP: ABFHiB, São Paulo, SP: FAPESP, Rio de Janeiro, RJ: Booklink, 2015.

Semestral  
viii, 134 p.; 21 cm.  
ISSN 1983-053X

1. Biologia – história. 2. História da biologia. 3. Biologia – filosofia. 4. Filosofia da biologia. I. Martins, Lilian Al-Chueyr Pereira. II. Prestes, Maria Elice Brzezinski. III. Martins, Roberto de Andrade. IV. Filosofia e História da Biologia. V. Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia, ABFHiB.

CDD 574.1 / 574.9

---

*Filosofia e História da Biologia* é indexada por:

**Clase** - <http://dgb.unam.mx/index.php/catalogos>

**Historical Abstracts** - <http://www.ebscohost.com/academic/historical-abstracts>

**Isis Current Bibliography** - <http://www.ou.edu/cas/hsci/isis/website/index.html>

**Latindex**-<http://www.latindex.unam.mx/buscador/ficRev.html?opcion=1&folio=20393>

**Philosopher's Index** - <http://philindex.org/>

# Sumário

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, Maria Elice B. Prestes e Roberto de Andrade Martins “Apresentação” “Presentation”	vii
Cinthia Graziela Santos “Conrad Hal Waddington e a assimilação genética” “Conrad Hal Waddington and the genetic assimilation”	155
Claudio Ricardo Martins dos Reis “Análise empírica e filosófica em livros-texto de ecologia: níveis de organização e teoria evolutiva” “Empirical and philosophical analysis in ecology textbooks: levels of organization and evolutionary theory”	175
José Alsina Calvés “El método deductivo en Buffon y su relacion con tradiciones experimentales de su época” “The deductive method in Buffon and its relationship with the experi-mental traditions of its era”	201
Rosa Andrea Lopes de Souza e Maria Elice Brzezinski Prestes “Motivação e emoção no ensino de biologia: análise de sequência didática sobre a viagem de Wallace ao Brasil” “Motivation and emotion in biology teaching: analysis of a teaching learning sequence on Wallace´s travel to Brazil”	233
Wilson Antonio Frezzatti Jr. “As críticas de Ernst Haeckel à doutrina celular” “Ernst Haeckel’s Criticism of the Cell Doctrine”	257



## Apresentação

O volume 10, número 2 do periódico *Filosofia e História da Biologia* é composto por cinco artigos. Estes se relacionam à História da Biologia, Filosofia da Biologia e/ou sua aplicação ao ensino. Conforme as normas da revista resultam de pesquisa original, são textos inéditos e foram analisados pelo menos por dois árbitros.

Neste fascículo Cintia Graziela Santos em seu artigo histórico procura elucidar se as concepções relacionadas à plasticidade fenotípica já estavam presentes em obras publicadas no período da Síntese Moderna como defendem alguns autores, focalizando as contribuições de Conrad W. Waddington.

A contribuição de Claudio Ricardo Martins dos Reis consiste na análise do modo pelo qual dois temas relacionados à Ecologia (os níveis de organização biológica e sua abordagem evolutiva) são abordados nos livros-texto destinados ao ensino superior.

José Alsina Calvés discute em seu artigo sobre o método empregado por George Louis Leclerc, Comte de Buffon, principalmente em seus estudos geológicos a partir de obras como *Les époques de la nature*, bem como suas relações com o que era considerado “a boa ciência” na época.

Rosa Andreia Lopes de Souza e Maria Elice Brzezinski Prestes utilizam um episódio histórico (os estudos de Wallace sobre as palmeiras amazônicas) na elaboração de uma sequência didática destinada à facilitação do ensino-aprendizagem de taxonomia e filogenia para alunos de ensino médio de uma escola pública de São Paulo. A pesquisa empírica mostrou os efeitos da sequência didática sobre a motivação e emoção dos alunos ao longo das aulas.

A contribuição de Wilson A. Frezzatti Jr. consiste na análise das críticas feitas por Ernst Haeckel à teoria celular de Schleiden e Schwann e sobre os principais elementos de sua concepção mecanicista de vida.

Os Editores  
Lilian Al-Chueyr Pereira Martins  
Maria Elice Brzezinski Prestes  
Roberto de Andrade Martins



A capa deste fascículo de *Filosofia e História da Biologia* traz ilustração da palmeira amazônica *Mauritia carana* realizada por Alfred Russel Wallace (1823-1913) em sua viagem pelo Brasil.



# Conrad Hal Waddington e a assimilação genética

---

Cintia Graziela Santos\*

---

**Resumo:** O objetivo deste artigo é discutir se algumas ideias relacionadas à concepção de plasticidade fenotípica já estavam presentes em algumas publicações no período da Síntese moderna como alegam Massimo Pigliucci and Gerd Müller. Focaliza as contribuições de Conrad Waddington relacionadas ao assunto. Waddington desenvolveu diversos experimentos com *Drosophila* submetendo diferentes fenótipos a diferentes condições ambientais. Ele concluiu que mesmo na ausência de estímulo ambiental o organismo desenvolvia um fenótipo modificado. Esta pesquisa leva à conclusão de que há algumas semelhanças entre a concepção de assimilação genética de Waddington e a concepção de plasticidade fenotípica. No entanto, suas ideias além de serem criticadas não foram completamente entendidas pela comunidade científica da época.

**Palavras-chave:** história da evolução; história da genética; plasticidade fenotípica; Waddington, Conrad Hal

## Conrad Hal Waddington and the genetic assimilation

**Abstract:** The aim of this paper is to discuss whether some ideas related to the conception of phenotypic plasticity were already present in some publications during the Modern Synthesis period as it has been claimed by Massimo Pigliucci and Gerd Müller. It will focus on Conrad Waddington contributions concerning this subject. Waddington developed several experiments with *Drosophila* in which he submitted different phenotypes to different environmental conditions. He concluded that even with the lack of environmental stimulus the organism developed a modified phenotype. This research leads to the conclusion that there are some similarities between Waddington's conception of genetic assimilation and the conception of

---

\* Cintia Graziela Santos. Pesquisadora do Grupo de História e Teoria da Biologia (GHTB), USP. Avenida Bandeirantes, 3900, Ribeirão Preto, SP, CEP 14040-901. E-mail: cintiagraz@gmail.com

phenotypic plasticity. However, his ideas besides being criticized were not completely understood by the scientific community of his time.

**Key-words:** history of evolution; history of genetics; phenotypic plasticity; Waddington, Conrad Hal

## 1 INTRODUÇÃO

A Síntese Moderna é descrita por Julian Huxley (1887-1975) e Ernst Mayr (1904-2005) como um movimento que ocorreu no período entre as duas Grandes Guerras e promoveu a convergência de várias disciplinas da Biologia (Huxley, 1942; Mayr, 1982). O consenso entre os biólogos evolutivos se deu em um momento de fragmentação da sociedade como um todo e da ciência, em particular (Smocovitis, 1996, pp. 21-22). Envolveu a adoção da visão de espécies como agregados populacionais isolados reprodutivamente; a aceitação de que o isolamento geográfico era uma condição necessária para a ocorrência da especiação e a ação da seleção natural sobre a frequência gênica, bem como a exclusão da herança de caracteres adquiridos (Mayr, 1982, pp. 566-567).

Porém, na década de 1980, a Síntese moderna recebeu várias críticas. Foi tachada de “incompleta, mal dirigida e errada” por ter deixado de lado disciplinas como a Embriologia, por exemplo. Nessa época ocorreram vários debates sobre os mecanismos evolutivos, os problemas que não haviam sido resolvidos e a própria legitimidade da “síntese” entre os evolucionistas (Smocovitis, 1996, p. 37-38), o que levou William Ball Provine a caracterizá-la como uma “construção” (Provine, 1988, p. 61; Araújo, 2006).

Atualmente alguns autores como Massimo Pigliucci e Gerd Müller alegam que já há algum tempo se está diante de uma situação diferente da vivenciada pela Síntese moderna. Eles consideram que houve o surgimento de novas disciplinas ou subáreas de estudo como a Evo-devo e a inclusão de aspectos que não faziam parte do escopo da Síntese como, por exemplo, a herança epigenética, a plasticidade fenotípica, o nicho construído, que estão sendo objeto de investigação (Pigliucci & Müller, 2010, cap. 1). Eles propõem uma nova denominação, Síntese evolutiva estendida. Além disso, consideram que algumas ideias referentes ao que se entende atualmente por plasticidade fenotípica já estavam presentes em publicações de alguns autores

como Conrad Hal Waddington (1905-1975) no período da Síntese (Santos, 2015, p. 66).

O objetivo deste artigo é procurar elucidar se concepções relacionadas à plasticidade fenotípica estavam realmente presentes nos trabalhos de Waddington (1905-1975) no período da Síntese como alegam os autores acima mencionados.

Porém, antes de desenvolver nossa análise consideramos importante esclarecer ao leitor não especializado no assunto o que é plasticidade fenotípica<sup>1</sup>. Trata-se do fenômeno em que um mesmo genótipo ao ser exposto a diferentes ambientes desenvolve fenótipos diferentes. As “respostas plásticas” podem variar desde modificações morfológicas até mudanças drásticas na fisiologia, história de vida e comportamento (Pigliucci, 2001, p. 2; West-Eberhard, 2003, pp. 35-36; Garland & Kelly, 2006, p. 2347).

## 2 CONRAD HAL WADDINGTON

Durante sua carreira, o biólogo inglês Conrad H. Waddington se dedicou a vários tipos de estudo. Estes incluíam embriologia, paleontologia, genética e filosofia. Em 1926 graduou-se em Ciências Naturais com ênfase em Geologia, na Universidade de Cambridge (UK). Desenvolveu seu doutorado em paleontologia, estudando a estrutura dos amonites<sup>2</sup>.

Em 1929, obteve uma bolsa de estudos para realizar atividades no *Strangeways Laboratory*, situado nas imediações de Cambridge. Nessa época, ele já estava familiarizado com o as pesquisas embriológicas desenvolvidas na Alemanha, especialmente as que tratavam do “orga-

---

<sup>1</sup> Atualmente a plasticidade fenotípica pode ser associada à norma de reação. A norma de reação é uma função genótipo-específica que relaciona os ambientes em que o organismo viveu durante o seu desenvolvimento e os fenótipos que esse genótipo produziu naquele ambiente. Diferentes genótipos podem ter diferentes normas de reação e responder de modo diferente quando submetidos às mesmas condições ambientais. (Pigliucci, 2010, p. 355).

<sup>2</sup>Os amonites são moluscos cefalópodes que viviam no interior de conchas em espiral. Essas conchas eram constituídas de carbonato e se assemelhavam as do náutilo atual. Eles surgiram no período Devoniano, quando se diversificaram em uma variedade de formas durante a era Mesozóica, sendo abundantes em todos os mares. Foram extintos no final do Cretáceo.

nizador”<sup>3</sup>. Investigou as fases iniciais do desenvolvimento embrionário em vertebrados superiores (aves e mamíferos). Publicou vários artigos mostrando a existência de um organizador nesses animais (Robertson, 1977, pp. 577-578; Slack, 2002, p. 890). Recebeu seu título de doutor somente em 1930, após publicar o resultado de suas pesquisas.

Além da pesquisa embriológica desenvolvida durante a década de 1930, o biólogo inglês interessou-se pela genética. Em 1939, foi para os Estados Unidos e trabalhou com *Drosophila* no grupo de Thomas Hunt Morgan (1866-1945) no *California Institute of Technology* (CALTEC) ao lado de Alfred Henry Sturtevant (1891-1970) e Theodosius H. Dobzhansky (1900-1975).

Em 1940, publicou o livro *Organisers and genes* (Organizadores e genes). Nele apresentou os conceitos de “competência”<sup>4</sup> e “paisagem epigenética” (*epigenetic landscape*)<sup>5</sup> (Slack, 2002, pp. 891-892). A partir da década de 1940, Waddington dedicou-se à investigação da assimilação genética<sup>6</sup>, um dos assuntos que despertaram seu interesse.

Durante a Segunda Guerra Mundial, Waddington trabalhou na *Royal Air Force Coastal Command*. Nessa ocasião, utilizou um novo método de modelagem matemática. Em 1944 mudou-se para Edimburgo

---

<sup>3</sup> O “organizador” é uma região que se forma nos estágios embrionários iniciais. Ela tem a propriedade de induzir um segundo eixo embrionário, ou seja, um segundo corpo completo (Slack, 2002, p. 890).

<sup>4</sup> Competência é a propriedade das células ou tecidos apresentarem reação a um estímulo.

<sup>5</sup> Waddington em sua obra *The strategy of the genes* (A estratégia dos genes), publicada em 1957 fez uma analogia entre a paisagem epigenética e uma bola rolando em uma paisagem. Ela representa o desenvolvimento no decorrer do tempo. A ocorrência de perturbações ambientais pode provocar o desvio da bola de um caminho de desenvolvimento para outro. A assimilação genética atuaria como um processo evolutivo para aumentar os picos dessa paisagem. Desse modo, ao longo do tempo, seriam necessárias mais perturbações para alterar a trajetória da bola, ou seja, do desenvolvimento (Waddington, 1957, pp. 29-31). Embora seja derivada da paisagem do *fitness* de Sewall Wright (1889-1988), é considerada uma contribuição original para a biologia do desenvolvimento (Slack, 2002, pp. 893-894).

<sup>6</sup> No entender desse autor, a assimilação genética é um mecanismo darwiniano que permite que certas características adquiridas sejam herdadas.

para assumir o cargo de diretor de um recém-criado instituto de pesquisa em genética animal (Robertson, 1977, p. 580; Slack, 2002, p. 893).

### 3 A ASSIMILAÇÃO GENÉTICA

A ideia de assimilação genética não é original de Waddington. Ela já estava presente nas concepções de outros autores. Por exemplo, na seleção orgânica (ou Efeito Baldwin) proposta em 1896 por James Mark Baldwin (1861-1934). Um mecanismo similar havia sido proposto por Henry Fairfield Osborn (1857-1935) meses depois. Essas concepções com algumas modificações ainda apareceram em *Factors of organic evolution* (1949) de autoria de Ivan I. Schmalhausen (1884-1963).

O filósofo e fisiologista<sup>7</sup> norte americano Baldwin não estava satisfeito com as explicações para os fenômenos biológicos disponíveis na época. Ele introduziu a concepção de “acomodação”<sup>8</sup> aplicada às mudanças fenotípicas não herdáveis que ocorriam em resposta aos estímulos ambientais. Isso permitia que o organismo sobrevivesse por mais tempo (Baldwin, 1896, p. 445). A seu ver, os indivíduos de uma mesma geração eram plásticos e podiam se adaptar a seus ambientes embora os caracteres adquiridos durante sua vida não fossem herdados (*Ibid.*, p. 447). Ele acreditava que a seleção natural atuava sobre “as variações em direção à plasticidade” (Baldwin, 1902, p. 37).

Waddington interessou-se inicialmente pelo fenômeno conhecido na época como “adaptação pseudoexógena”. Um exemplo desse fenômeno era a existência de calosidades proeminentes na pele da região ventral do avestruz. Acreditava-se que essas calosidades fossem produzidas pela fricção constante que a ave fazia ao sentar-se. Contudo, foi constatado que elas não surgiam durante a vida do ani-

---

<sup>7</sup> Estudioso da mente e do comportamento.

<sup>8</sup> O termo acomodação ainda é utilizado, mas foi desdoblado nos componentes genético e fenotípico (West-Eberhard, 2003; 2005). A acomodação fenotípica é equivalente à acomodação de Baldwin, exceto por se referir apenas às mudanças induzidas pelo ambiente. A acomodação genética é similar ao conceito de mudança genética adaptativa, sendo uma mudança na frequência gênica (West-Eberhard, 2003, p. 142).

mal, mas eram produzidas durante o desenvolvimento embrionário e já se apresentavam no momento da eclosão do ovo. Na época, discutia-se se o atrito entre a pele ventral dos avestruzes ancestrais com o solo teria acarretado uma mudança em seus genes, o que faria com que as calosidades fossem produzidas espontaneamente. Foi essa problemática que levou Waddington a se dedicar à investigação da assimilação genética.

Devido às dificuldades em trabalhar com o avestruz, Waddington escolheu um material experimental mais favorável, no caso, *Drosophila*. Ele explicou:

Quando comecei a fazer experimentos sobre a evolução em *Drosophila* nas décadas de 1940 e 1950, tratei aquele inseto como um sistema de desenvolvimento. Por meio da manipulação do ambiente em que ele se desenvolvia pude descobrir o novo processo de assimilação genética. Assim, meu interesse particular em evolução – com ênfase no desenvolvimento do fenótipo, que não era usual na época – derivou-se diretamente da metafísica whiteheadiana<sup>9</sup> (Waddington, 1975 *apud* Robertson, 1977, p. 597)

### 3.1 Os experimentos de Waddington

Em um primeiro experimento, Waddington submeteu moscas da fruta em estágio de pupa à temperatura de 40°C durante quatro horas. Observou a produção da fenocópia *crossveinless* (que apresentava a ausência da veia transversal na asa). Isso ocorreu em 40% das pupas. A seguir, montou duas linhagens para o experimento de seleção: uma formada por casais que apresentavam a fenocópia e outra com casais normais (contra a formação da fenocópia). Percebeu a ocorrência de rápidas mudanças da seleção em ambas as direções. Essas ocorreram principalmente após a quinta geração (Waddington, 1952a, p. 278).

Um aspecto relevante desse experimento foi que a partir da 12ª geração as moscas continuaram apresentando o fenótipo *crossveinless*, mes-

---

<sup>9</sup> Alfred North Whitehead (1861-1947), filósofo britânico, tem seu nome relacionado à escola da filosofia do processo que identifica a realidade metafísica em meio à mudança e ao dinamismo. Suas ideias são atualmente aplicadas a várias áreas como ecologia, teologia, educação, física, dentre outras. Estava interessado em estudar a realidade da percepção dos objetos e as relações entre eles (Slack, 2002, p. 890).

mo entre os indivíduos que não haviam sido submetidos ao estímulo da temperatura. O cruzamento desses indivíduos entre si em temperatura normal produziu moscas *crossveinless*. Waddington concluiu que durante a seleção ocorria a formação da constituição genética. Por essa razão, mesmo em condições normais, o fenótipo *crossveinless* foi produzido. No entanto, como essa constituição fenotípica nunca ultrapassou 80%, ele não a considerou totalmente penetrante<sup>10</sup> (Waddington, 1952a, p. 278).

As evidências obtidas por Waddington na maioria dos experimentos realizados com *Drosophila* levaram-no a concluir que as linhagens selecionadas apresentavam uma resposta em relação ao desenvolvimento mesmo na ausência do estímulo.

Ele procurou testar se o mecanismo de “canalização”<sup>11</sup> permitiria que uma característica adquirida pudesse ser “assimilada” pelo genótipo e surgisse independentemente de qualquer estímulo ambiental, de modo análogo à “seleção estabilizadora” de Schmalhausen (1949) (Waddington, 1953a, p. 118). Em suas palavras: “Eu estava decidido a selecionar uma linhagem de *Drosophila melanogaster* devido à sua capacidade de formar uma fenocópia em resposta a alguns estímulos ambientais definidos” (Waddington, 1953a, p. 118).

Assim, ele procurou testar experimentalmente se o caráter poderia ser assimilado geneticamente e favorecido pela seleção em condições naturais, independentemente de ser vantajoso ou não. Optou novamente pelo caráter *crossveinless*.

---

<sup>10</sup> A penetrância consiste na capacidade de um genótipo de se manifestar em seus portadores. É a porcentagem de indivíduos com determinado alelo (dominante ou recessivo) que exibem o fenótipo correspondente.

<sup>11</sup> Waddington propôs o termo “canalização” para explicar o fato de um organismo ser capaz de produzir sempre as mesmas características (fenótipo) mesmo com as variações externas ou internas. Ele exemplificou o fenômeno de canalização usando a trajetória de uma bola rolando ao longo de uma região de montanhas e vales. Com o passar do tempo, a bola acaba sendo levada (canalizada) para a região de vale. Os vales seriam os canais, para os quais o desenvolvimento embrionário seria direcionado. Um vale na paisagem representa um conjunto de trajetórias similares no espaço. A ideia de canalização indica que muitas trajetórias existiram como grupos, ou seja, uma pequena perturbação externa ou interna não afetaria o caminho que a bola fosse seguir (Slack, 2002, pp. 892-893).

Iniciou os cruzamentos experimentais utilizando duas linhagens de seleção: *upward* (moscas que exibiam o efeito *crossveinless*<sup>12</sup> após o tratamento) e *downward* (moscas com asas normais). Percebeu que havia ocorrido uma ampla gama de variações dessa fenocópia. Nas primeiras gerações, as respostas foram irregulares. A partir do cruzamento entre moscas normais, nasceu uma menor quantidade de *crossveinless* do que do cruzamento entre moscas *crossveinless* (Waddington, 1953a, pp. 118- 119).

Os resultados encontrados por Waddington levaram-no a concluir que a seleção para a resposta a um estímulo ambiental produziu linhagens com fenótipos anormais mesmo na ausência do estímulo (Waddington, 1953a, p. 123). Moscas *crossveinless* nasceram somente quando o estoque original recebeu o estímulo anormal, ou seja, alta temperatura no estágio de pupa. Nesse caso, ele considerou que o caráter havia sido adquirido. Nos cruzamentos com linhagens derivadas do estoque de seleção *upward*, criadas em condições normais de temperatura, o caráter *crossveinless* apareceu sem a presença do estímulo. Nesse caso, ele considerou que o caráter foi herdado. Waddington procurou explicar esses resultados não somente a partir da seleção de uma mutação ao acaso, mas pela diversificação de muitos genes do genótipo fundador do caráter *crossveinless*. Acrescentou ainda que havia encontrado evidências de segregação poligênica. No entanto, os experimentos realizados não trouxeram esclarecimentos sobre a origem dessas diferenças gênicas (Waddington, 1953a, pp. 123-124).

O autor estava consciente de algumas limitações dos seus experimentos. Por exemplo, eles não traziam informações sobre o que ocorria com uma espécie durante o processo evolutivo. No entanto, podiam trazer alguns esclarecimentos sobre os processos envolvidos na mudança evolutiva (Waddington, 1953a, p. 124). Ele concluiu que o desenvolvimento do fenótipo *crossveinless* corroborava a hipótese de assimilação genética. A seleção não apenas aumentou a frequência do caráter, mas também estabilizou seu desenvolvimento (Waddington, 1953a, p. 125).

---

<sup>12</sup> O critério adotado para considerar a mosca como *crossveinless* consistiu na apresentação de qualquer distúrbio na veia transversal posterior (Waddington, 1953a, p. 118).

Considerando que por meio da assimilação genética era possível explicar alguns tipos de evolução de adaptação que ainda não estavam esclarecidos, Waddington passou a investigar a assimilação genética relacionada a outros caracteres. Analisou a modificação *bithorax* em *D. melanogaster*. Esta era produzida pelo tratamento do embrião jovem com éter, conforme estudado por Gloor (1947), e envolvia a modificação da aparência normal da mosca adulta, principalmente na região do metatórax. Essa região normalmente desenvolvia halteres, mas no caso *bithorax*, ela se modificava e desenvolvia estruturas semelhantes ao mesotórax, incluindo asas (Waddington, 1956, p. 1).

Waddington expôs os ovos de *Drosophila* ao vapor de éter durante 25 minutos à temperatura de 25°C. Ao atingir a fase adulta as moscas foram classificadas em selvagens e *bithorax*. Foram então realizados dois tipos de experimentos. No primeiro, machos e fêmeas com o fenótipo *bithorax* foram cruzados por várias gerações, caracterizando a seleção *upward*. No segundo, foram cruzados machos e fêmeas do tipo selvagem, caracterizando a seleção *downward*. Foram feitas duas réplicas para cada tipo experimental: Experimento 1: seleção *upward* e seleção *downward*; Experimento 2: seleção *upward* e seleção *downward* (Waddington, 1956, p. 2).

Na primeira geração do experimento 1, nasceram 24,5% de fenocópias *bithorax* e no experimento 2 nasceram 48,8%. No entanto, nas gerações posteriores, principalmente na seleção *upward*, nasceram poucas fenocópias. Waddington relacionou o ocorrido a uma falha da pupa em eclodir. Além disso, nesse tipo de seleção ocorreu a expressão de diferentes tipos da fenocópia *bithorax*, com ampla gama de variações. Por outro lado, Waddington constatou que na seleção *downward*, nas gerações seguintes, o número de fenocópias sofreu redução e a grade de expressão diminuiu com falha na eclosão das pupas (Waddington, 1956, pp. 2-3).

No experimento 2, por volta da oitava geração da linhagem de seleção *upward*, uma mosca cujo ovo não havia sido tratado apresentou um aumento nas dimensões de seus halteres. Na geração seguinte foram encontradas mais dez moscas nessas condições. Essas moscas com os alteres aumentados foram cruzadas. Iniciou-se uma linhagem de seleção chamada He, criada em condições normais. Após analisar a progênie dessa linhagem, Waddington sugeriu que esse efeito (He)

havia sido causado por um único gene dominante com efeito letal recessivo (Waddington, 1956, pp. 3-4).

Em relação aos outros experimentos (com as moscas *bithorax*), as evidências encontradas indicaram que nos primeiros grupos a fenocópia parecia ter sido assimilada. Waddington considerou que esses resultados não tinham sido produzidos de “modo normal pela seleção de muitos genes menores atuando na direção desejada, mas ocorreram pela fixação de uma única mutação que surgiu *de novo* ao acaso” (Waddington, 1956, p. 5). Dando prosseguimento à seleção, o experimento 1 foi até a 14ª geração e o experimento 2 até a 20ª. A duração do tratamento foi reduzida para 20 minutos até a 26ª geração e depois reduzida novamente para 15 minutos.

O biólogo inglês não encontrou nenhum sinal de assimilação até a 29ª geração da linhagem *upward* do experimento 1. Percebeu que poucas moscas que não haviam sido tratadas exibiram o fenótipo *bithorax*. Cruzou-as entre si e constatou que seus filhos mostravam o efeito *bithorax*. Após poucas gerações ocorreu a produção de um estoque (He\*). Este apresentou uma frequência de 70 a 80% de moscas *bithorax*. Vários cruzamentos foram realizados com essas moscas e Waddington sugeriu que esse efeito teria uma base poligênica e os genes estavam localizados no 2º e 3º cromossomos. Ele comentou: “Esse resultado está de acordo com o que pode ser esperado se a assimilação resultar da ação conjunta de genes menores que atuam na produção do fenótipo *bithorax*” (Waddington, 1956, pp. 5-6).

A seleção para a capacidade de resposta ao tratamento com éter, produzindo o fenótipo *bithorax*, resultou na exibição deste fenótipo mesmo na ausência do estímulo ambiental (Waddington, 1956, p. 9). Waddington concluiu que:

O fato de que a assimilação aconteceu sucessivamente em um número de gerações em um período que embora seja longo no laboratório, é muito curto na escala de tempo da natureza, sugere que o mecanismo pode de fato ser extremamente poderoso. Parece provável que qualquer modificação produzida pelo ambiente caso seja for favorável para o animal, seja geneticamente assimilada em um tempo relativamente curto. (Waddington, 1956, p. 10)

Os experimentos de Waddington embora tenham sido considerados cuidadosos em termos metodológicos, receberam algumas críti-

cas. Estas estavam relacionadas ao fato de ele ter trabalhado com caracteres e estímulos ambientais que não ocorrem na natureza. Para contornar esse problema ele introduziu algumas modificações no experimento utilizando um caráter que fosse adaptativo<sup>13</sup>. Colocou três linhagens de *Drosophila melanogaster* em um meio de cultura com uma quantidade de cloreto de sódio que poderia matar mais de 60% das larvas de modo a propiciar uma seleção mais rigorosa. Nas gerações seguintes a quantidade de sal foi aumentada. A seleção foi mantida por 21 gerações. Nesse estágio, os ovos (em igual quantidade) foram distribuídos em um meio com várias concentrações de sal. Testou também uma linhagem que não havia sido selecionada. Após calcular o número de sobreviventes e as dimensões de sua papila anal<sup>14</sup>, constatou que as linhagens selecionadas sobreviviam mais do que aquelas que não haviam sido selecionadas e que a extensão de sua papila anal aumentava proporcionalmente com o aumento da concentração salina. Ele concluiu que havia ocorrido assimilação genética e que a seleção tinha aprimorado a adaptabilidade dos animais (Waddington, 1959, pp. 1654-1655). Dois anos mais tarde Waddington (1961) fez uma revisão de seus trabalhos anteriores sobre assimilação genética e canalização e comentou:

Se estivermos corretos em acreditar que um organismo, se criado no ambiente E, exibiria o fenótipo P, enquanto que se criado no ambiente E' seu fenótipo seria P', então essas características em que P' difere de P são consideradas como caracteres adquiridos, e aquelas características em que P' se assemelha a P são consideradas como caracteres herdados, com referência à sua mudança particular de ambiente. (Waddington, 1961, p. 259)

Diante da dificuldade ou mesmo impossibilidade de criar o mesmo indivíduo em dois ambientes diferentes, ele sugeriu que fossem usadas populações de organismos que apresentassem genótipos similares (Waddington, 1961, p. 259).

---

<sup>13</sup> Ele considerou as dimensões da papila anal das moscas. Essa característica teria uma função adaptativa na natureza, pois a papila anal estava provavelmente relacionada à regulação osmótica.

<sup>14</sup> Ao que tudo indica, esse órgão estava envolvido na regulação osmótica da larva.

Ele definiu a assimilação genética como “a conversão de um caráter adquirido em um caráter herdado; ou melhor, como uma mudança (em direção a uma maior importância de herdabilidade) no grau para o qual o caráter é adquirido ou herdado” (Waddington, 1961, p. 259).

De acordo com Waddington, mudanças morfológicas qualitativas podiam ser produzidas por um tratamento externo, mas a capacidade de responder a esse tratamento era uma variável quantitativa que dependia de muitos *loci* gênicos. Se o tratamento fosse aplicado e muitos indivíduos mostrassem o efeito morfológico, então por meio da seleção natural esse grupo poderia produzir uma população em que a mudança morfológica iria surgir de maneira espontânea sem o tratamento. Ele introduziu essa questão do seguinte modo:

A batalha travada durante tanto tempo entre as teorias de evolução defendidas por um lado pelos geneticistas e do outro pelos naturalistas, tem sido fortemente favorável nos anos recentes aos primeiros. Poucos biólogos atualmente duvidam que a investigação genética tenha revelado, em qualquer proporção, as mais importantes categorias da variação hereditária. A teoria “naturalista” clássica – a herança de caracteres adquiridos – tem sido geralmente relegada a um segundo plano, pois o modo como foi proposta anteriormente apresenta um tipo de variação hereditária que não está fundamentada em evidências adequadas. (Waddington, 1942, p. 563)

O biólogo inglês desejava obter esclarecimentos sobre a herança dos caracteres adaptativos. Como a herança de caracteres adquiridos havia sido deixada de lado pela Síntese moderna, restava apenas a explicação por meio da seleção natural que filtrava as mutações que ocorriam ao acaso. Contudo, ele não se satisfaz com essa explicação. Sugeriu que por meio dos processos de desenvolvimento seria possível compreender como os genótipos dos organismos em evolução poderiam responder ao ambiente de uma maneira coordenada (Waddington, 1942, p. 563).

Waddington descartou as explicações para a adaptação pseudoeoxígena pelos efeitos do uso e outras disponíveis na época e considerou que “nos membros ancestrais da cadeia evolutiva, as calosidades haviam sido formadas como resposta à fricção externa, mas que durante o curso da evolução o estímulo ambiental foi sendo suplantado

por um fator genético interno”. Ele procurou testá-la empiricamente (Waddington, 1942, p. 563).

Para Waddington havia algumas condições necessárias para a ocorrência do fenômeno. A primeira seria que a capacidade de responder a um estímulo ambiental externo por meio da reação do desenvolvimento estaria sob o controle genético. A segunda seria que as reações do desenvolvimento seriam canalizadas, isto é, seriam ajustadas de modo a resultar em pequenas variações (Waddington, 1942, p. 563).

Waddington acreditava que a canalização poderia ocorrer quando durante o desenvolvimento se a seleção natural favorecesse algumas características. O ambiente poderia afetar o sistema de desenvolvimento de várias maneiras. Poderia atuar como um mecanismo interruptor ou como fator que poderia modificasse o seu caminho. O mais comum seria o efeito ambiental produzir a modificação de um caminho de desenvolvimento já existente (Waddington, 1942, p. 564-565). Por outro lado, a resposta adaptativa a um estímulo ambiental seria controlada geneticamente pelo organismo. Essa resposta adaptativa poderia ser fixada em vários passos sem a ocorrência de mutação (Waddington, 1942, p. 565).

Waddington testou suas ideias experimentalmente. Utilizou estímulos ambientais não usuais para produzir fenocópias<sup>15</sup>, ou seja, para reproduzir o mesmo efeito morfológico de mutantes conhecidos. Ele criou linhagens de *Drosophila* durante várias gerações, submetendo-as a diferentes tipos de tratamento.

#### **4 AS CRÍTICAS RECEBIDAS PELOS ESTUDOS SOBRE ASSIMILAÇÃO GENÉTICA**

As publicações de Waddington da década de 1950 discutidas na seção anterior foram objeto de algumas resenhas críticas. Em uma delas, Michael Begg criticou a terminologia (“caráter adquirido”) utili-

---

<sup>15</sup> Waddington de modo análogo a Richard Benedict Goldschmidt (1878-1958) considerava fenocópia como o fenótipo produzido por um estímulo ambiental cujo resultado seria semelhante ao produzido por uma mutação genética (Pigliucci e Murren, 2003, p. 1456). Utilizou esse termo para se referir aos fenótipos *crossveinless* e *bitborax* que havia estudado (Waddington, 1952a; 1952b; 1953a; 1953b; 1956).

zada por Waddington. A seu ver, os resultados obtidos por Waddington podiam ser explicados em termos de seleção de genótipos submetidos à alta temperatura. Não se tratava, portanto, de um caráter adquirido. Em suas palavras: “Parece, portanto, muito mais confundir do que esclarecer a questão da herança de caracteres adquiridos, se o termo é usado em conexão com tais experimentos como aqueles [de Waddington]” (Begg, 1952, p. 625).

Waddington (1952b) replicou que o experimento de Begg com *antennaeless* não oferecia nenhum paralelo a seu experimento, como Begg havia sugerido. Além disso, não levava a uma conclusão semelhante à sua, pois, em seu experimento, o fenótipo *crossveinless*, que havia se desenvolvido devido ao tratamento com alta temperatura, continuou se desenvolvendo mesmo na ausência desse estímulo (Waddington, 1952b, p. 625).

Em relação ao uso da expressão “caráter adquirido”, Waddington comentou que todos os caracteres podem ser considerados adquiridos, pois todos dependem do ambiente e do genótipo. Ele explicou que convencionalmente a expressão era usada para se referir a um caráter não usual das espécies, formado quando elas se desenvolviam em um ambiente diferente. A questão a ser investigada era se esse caráter poderia ser herdado e em caso positivo qual seria o processo envolvido. Esclareceu que seu experimento levava à conclusão de que o caráter *crossveinless* se desenvolvia mesmo na ausência do estímulo ambiental (Waddington, 1952b, p. 625).

No artigo de 1956, Waddington comentou sobre algumas críticas que recebeu de Garth Underwood (1956), que considerou os experimentos de assimilação genética de Waddington irrelevantes para explicar como a evolução ocorria na natureza. Para ele, os animais na natureza raramente entravam em contato com estímulos extremos, tais como, o choque térmico ou o éter. Além disso, se um genótipo pudesse responder adaptativamente ao ambiente em que se encontra normalmente, a assimilação genética dos caracteres fenotípicos adaptativos não seria necessária. Por outro lado, Underwood sugeriu que fosse feita uma distinção entre os dois tipos de adaptação: adaptações primárias fixas (genéticas – aquelas que surgiram como tal) e adaptações secundárias fixas (aquelas que surgiram pela fixação de uma adaptação facultativa) (Underwood, 1954, pp. 370-372).

Waddington não concordou com as críticas de Underwood. Ele considerava que os estímulos que havia utilizado poderiam revelar mecanismos gerais que relacionassem os genótipos às forças seletivas atuantes sobre o fenótipo. Quanto à afirmação de que a assimilação genética não era necessária, pois todo genótipo responderia adaptativamente ao ambiente, Waddington argumentou que muitas características adaptativas são fixas e não se alteram quando as condições ambientais se modificam (Waddington, 1956, p. 11).

A discordância de Waddington se estendeu à proposta de se fazer uma distinção entre os dois tipos de adaptação. Ele comentou que se essa distinção fosse feita a modificação decorrente do ambiente seria irrelevante para a origem das adaptações primárias fixas. Na época ou não se considerava o efeito ambiental em discussões sobre a evolução de novos caracteres ou ele era deixado em segundo plano. A seu ver, todos os fenótipos são modificados pelo ambiente e todos os genótipos sofrem a ação da seleção natural e seu desenvolvimento é modificado pelo ambiente. Ele considerou que a distinção sugerida por Underwood não correspondia à realidade (Waddington, 1956, p. 11).

No final de seu artigo, Waddington voltou a enfatizar que a mudança ocorrida em um curto tempo (30 gerações), em seus experimentos, sugeria que esse tipo de estudo era importante e ajudava a compreender os processos evolutivos (Waddington, 1956, p. 11).

Frederick E. Warburton (1956) considerou que os artigos de Waddington de 1952, 1953 e 1956 forneceram fortes evidências de que a assimilação genética poderia ser uma força evolutiva poderosa em populações de *Drosophila*, mas isso não mostrava que ela pudesse ocorrer em outros organismos. Por isso, ele considerava necessário investigá-la também em outros grupos (Warburton, 1956, p. 337). Em suas palavras:

Ele [Waddington] restringiu sua hipótese às limitações do desenvolvimento de um único filo, mas deveria reconhecer e estudar os diferentes modos de interação disponíveis para diferentes grupos de organismos. Talvez nem todos esses modos sejam exemplificados por *Drosophila*. (Warburton, 1956, p. 338)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Waddington estava interessado em elucidar o mecanismo responsável pela produção de novos fenótipos a partir de um estímulo ambiental simples. Contudo, não estava satisfeito com as explicações dadas na época para esses fenômenos. Sugeriu uma explicação alternativa. Propôs que por meio dos processos de desenvolvimento seria possível compreender como os genótipos evoluíam em resposta ao ambiente. A seu ver, o ambiente poderia influenciar o sistema de desenvolvimento de várias maneiras. Diante disso, elaborou uma série de experimentos utilizando estímulos ambientais, como alta temperatura e éter, em linhagens de *Drosophila*, por várias gerações. Os fenótipos analisados nessas moscas foram o *crossveinless*, *bithorax* e papila anal. A principal conclusão de Waddington foi que as linhagens selecionadas mostraram resposta fenotípica mesmo na ausência do estímulo ambiental. Além disso, ocorreu aumento da frequência do caráter e estabilização de seu desenvolvimento. Dessa maneira, seus experimentos corroboravam sua hipótese de assimilação genética. Ele sugeriu que a modificação produzida pelo ambiente, se fosse favorável ao organismo, poderia ser geneticamente assimilada em um tempo relativamente curto.

A concepção de assimilação genética de Waddington não é totalmente original. Alguns aspectos nela presentes são semelhantes às concepções encontradas em outros autores como Baldwin ou Schmalhausen. Porém, como vimos neste artigo, há também diferenças. No primeiro caso, por exemplo, elas estão relacionadas ao resultado final da seleção.

Os resultados dos experimentos de Waddington indicaram que novos fenótipos podiam ser gerados por fatores ambientais e que o produto final era uma característica canalizada cuja expressão não necessitava mais do estímulo ambiental. Apesar de não ter empregado a expressão “plasticidade fenotípica”, mas “assimilação genética”, é possível perceber relações entre plasticidade (novos fenótipos devido a um estímulo ambiental) e assimilação genética (organismo apresentar o novo fenótipo mesmo na ausência do estímulo ambiental –

caráter adquirido). A concepção de caracteres adquiridos de Waddington pode ser comparada ao que se entende por uma característica fenotipicamente plástica.

Quando a assimilação genética foi proposta por Waddington, poucos pesquisadores seguiram sua linha de pesquisa. O tratamento ambiental não natural (temperaturas extremas, vapor de éter) dos experimentos de Waddington, provocou questionamentos sobre a importância desse fenômeno em populações naturais.

Waddington não empregou a expressão “norma de reação” ou plasticidade fenotípica em seu trabalho. Contudo, é possível perceber que seu mecanismo de assimilação genética é realmente um exemplo de seleção na forma da norma de reação do organismo (Pigliucci e Müller, 2010, p. 360). Pois, quando o novo fenótipo é assimilado ocorre uma mudança da norma de reação do genótipo. Pesquisas recentes vêm mostrando evidências empíricas sobre a assimilação genética e que a seleção pode agir sobre redes regulatórias para tamponar (canalizar) contra as perturbações ambientais. Esse mecanismo pode acelerar o processo de aquisição e difusão de novidades evolutivas.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio recebido que possibilitou a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Aldo Mellender. Síntese evolutiva ou constrição de teorias: há espaço para outros enfoques? *Filosofia e História da Biologia*, **1**: 5-19, 2006.
- BALDWIN, James. M. A new factor in evolution. *American Naturalist*, **30**: 441-451, 536- 553, 1896.
- \_\_\_\_\_. *Development and evolution*. Londres: MacMillan, 1902.
- BEGG, Michael. Selection for the genetic basis of an acquired character. *Nature*, **169**: 625, 1952.

- GARLAND, T., Jr., & KELLY S. A. Phenotypic plasticity and experimental evolution. *Journal of Experimental Biology*, **209**: 2344-2361, 2006.
- GLOOR, H. Phänokopie versuche mit aether an Drosophila. *Revue Suisse Zoologie*, **54**: 637-712, 1947.
- HUXLEY, Julian S. *Evolution: The modern synthesis*. London: Allen & Unwin, 1942.
- MAYR, ERNST. *The growth of biological thought: Diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, MA: The Belknap Press, 1982.
- PIGLIUCCI, Massimo. *Phenotypic plasticity: beyond nature e nurture*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.
- PIGLIUCCI, Massimo. Phenotypic plasticity. Pp. 355-378, *in*: PIGLIUCCI, Massimo; MÜLLER, Gerard (eds.). *Evolution the extended synthesis*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2010.
- PIGLIUCCI, Massimo; MURREN, Courtney J. Perspective: Genetic assimilation and a possible evolutionary paradox: Can macroevolution sometimes be so fast as to pass us by? *Evolution*, **57** (7): 1455-1464, 2003.
- PROVINE, William, B. Progress in evolution and meaning in life. Pp. 49-74, *in*: NITECKI, M. H. (ed.). *Evolutionary progress*. Chicago: University of Chicago Press, 1988.
- ROBERTSON, A. Conrad Hal Waddington. *Biographic Memoirs of the Fellows of the Royal Society* **23**, 575-622, 1977.
- SANTOS, Cintia Graziela. *Da Teoria sintética da evolução à Síntese estendida: o papel da plasticidade fenotípica*. Ribeirão Preto, 2015. Tese. (Doutorado em Biologia comparada) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.
- SLACK, Jonathan M. Conrad Hal Waddington: the last Renaissance biologist? *Nature*, **3**: 889-895, 2002.
- SMOCOVITIS, Vassiliki Betty. *Unifying biology: The evolutionary synthesis and evolutionary biology*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1996.
- UNDERWOOD, G. Categories of adaptation. *Evolution*, **8**: 365-377, 1954.
- WADDINGTON, Conrad Hal. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature*, **150**: 563-565, 1942.

- \_\_\_\_\_. Selection of the genetic basis for an acquired character. *Nature*, **169**: 278, 1952 (a).
- \_\_\_\_\_. Selection of the genetic basis for an acquired character: reply to Begg. *Nature*, **169**: 625-626, 1952 (b).
- \_\_\_\_\_. Genetic assimilation of an acquired character. *Evolution*, **7** (2): 118-126, 1953 (a).
- \_\_\_\_\_. The Baldwin effect, genetic assimilation and homeostasis. *Evolution*, **7**(4): 386-387, 1953 (b).
- \_\_\_\_\_. Genetic assimilation of the bithorax phenotype. *Evolution*, **10**: 1-13, 1956.
- \_\_\_\_\_. *The strategy of the genes*. London: George Allen & Unwin, 1957.
- \_\_\_\_\_. Canalization of development and genetic assimilation of acquired characters. *Nature*, **183**: 1654-1655, 1959.
- \_\_\_\_\_. Genetic assimilation. *Advanced Genetics*, **10**: 257-290, 1961.
- WARBURTON, Frederick E. Genetic assimilation: adaptation versus adaptability. *Evolution*, **10** (3): 337-339, 1956.
- WEST-EBERHARD, Mary Jane. *Developmental plasticity and evolution*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- \_\_\_\_\_. Phenotypic accommodation: Adaptive innovation due to developmental plasticity. *Journal of Experimental Zoology Part B (Molecular and Developmental Evolution)*, **304B**: 610-618, 2005.

**Data de submissão:** 20/10/2015

**Aprovado para publicação:** 15/12/2015



# Análise empírica e filosófica em livros-texto de ecologia: níveis de organização e teoria evolutiva

**Claudio Ricardo Martins dos Reis \***

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo discutir dois temas fundamentais da ecologia apresentados em livros didáticos de utilização no ensino superior. O primeiro tema é o dos níveis de organização biológica próprios à pesquisa em ecologia, enquanto o segundo refere-se à abordagem evolutiva nesses estudos. O artigo aborda problemas filosóficos relacionados a esses temas, bem como apresenta resultados de análise empírica do modo como são tratados em livros didáticos. Primeiramente, encontrou-se uma variação considerável na ênfase dos autores dos livros-texto aqui selecionados quanto aos níveis de organização próprios e prioritários à ecologia. Enquanto uns enfatizaram o organismo como unidade fundamental, outros deram prioridade ao nível ecossistêmico. Além disso, alguns mencionaram a importância de níveis como o molecular, ao passo que outros incluíram o nível da biosfera no estudo ecológico. Quanto à ênfase na teoria evolutiva, houve autores que fizeram questão de destacar sua importância, mas outros sequer a mencionaram em seu capítulo introdutório. Isso refletiu numa grande diferença entre as obras quanto ao número de capítulos tendo a evolução como tópico central. Mesmo apresentando essa variação, a teoria evolutiva foi tratada basicamente em sua forma estabelecida pela Síntese Moderna. Esses resultados empíricos foram propícios a um exame filosófico acerca de dois temas: (i) o problema ontológico e epistemológico da relação parte-todo, com base na discussão sobre níveis de organização biológica, e (ii) controvérsias contemporâneas em torno da Síntese Moderna e alguns problemas conceituais, a partir da discussão sobre a abordagem evolutiva dos livros didáticos.

**Palavras-chave:** ecologia; livros-texto do ensino superior; problemas da relação parte-todo; síntese estendida da evolução

---

\* Mestrando em Ecologia no Departamento de Ecologia e graduando em Filosofia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, CEP: 91501-970. E-mail: claudiormreis@gmail.com

## **Empirical and philosophical analysis in ecology textbooks: levels of organization and evolutionary theory**

**Abstract:** This work aims to discuss two fundamental topics of ecology presented in didactic books of use in higher education. The first topic is that the levels of biological organization of interest for ecological research; while the second refers to the evolutionary approach in these studies. The article discusses philosophical problems related to these issues and presents the results of empirical analysis of how they are treated in textbooks. First, we found considerable variation in emphasis of textbook authors selected here about the levels of organization that are proper and priority to ecology. While some emphasized the organism as the fundamental unit, others gave priority to the ecosystem level. In addition, some mentioned ‘molecular’ as a level of importance, while others included the biosphere level in ecological study. Regarding the emphasis on evolutionary theory, there have been authors who stressed its importance, but others not mentioned it in their introductory chapter. This reflected a big difference between the textbooks in relation to the number of chapters with evolution as the central topic. Even with this variation, evolutionary theory was basically treated in a manner established by the Modern Synthesis. These empirical results are conducive to a philosophical examination about two issues: (i) the ontological and epistemological problem of part-whole relations, in the discussion of levels of biological organization, and (ii) the contemporary controversies surrounding the Modern Synthesis and some conceptual problems, in the discussion of the evolutionary approach of textbooks.

**Key-words:** ecology; textbooks for higher education; problems of part-whole relation; extended evolutionary synthesis

## **1 INTRODUÇÃO**

Os objetos de estudo da ecologia perfazem mais de um nível de organização biológica, entre os quais estão os sistemas nos níveis de organismo, população, comunidade e ecossistema. Isso faz surgir, no interior dessa ciência, um problema filosófico que é comum quando se investigam as relações entre diferentes disciplinas científicas. Trata-se do problema epistemológico da relação entre níveis de explicação dos fenômenos, bem como do problema ontológico dos níveis da realidade. Esses problemas têm sido comumente tratados como “o problema da relação parte-todo”, e têm gerado uma profusão de teorias sobre essa relação (Blitz, 1992, pp. 176-178). Como veremos, autores como Blitz (1992), Levine, Sober e Wright (1987) e El-Hani

(2000) propuseram diferentes modelos tipológicos no intuito de captar a pluralidade de concepções envolvidas nessas teorias.

Os ecólogos contemporâneos – provavelmente influenciados pelas posições divergentes de Frederic Clements (1874-1945) e Henry Gleason (1882-1975) sobre a natureza das comunidades ecológicas (Clements, 1916; Gleason, 1926)<sup>1</sup> – apresentam um espectro interessante de concepções a esse respeito. Como apresentado ao final da seção 3 deste artigo, há autores mais próximos do reducionismo-individualismo, ao estilo de Gleason, até autores que defendem expressamente o holismo, ao estilo de Clements.

Quanto à teoria da evolução, ela é amplamente reconhecida como integradora e transversal aos diferentes campos que investigam os sistemas vivos, e entende-se que isso deveria se refletir também no campo da ecologia. No entanto, mesmo que a evolução seja um fenômeno consensual entre os biólogos e os cientistas em geral, alguns aspectos da teoria evolutiva são assunto de intensos debates contemporâneos. A abordagem hegemônica atualmente – representada pela Síntese Moderna da Evolução – possui questionamentos no sentido de, segundo autores críticos, ter negligenciado processos-chave responsáveis por moldar os padrões evolutivos (Jablonka e Lamb, 2005; Pigliucci & Müller, 2010; Laland *et al.*, 2014 e 2015). Esses autores propõem uma ampliação e reestruturação da abordagem evolutiva contemporânea, no intuito de melhor adequá-la empiricamente e lhe dar maior poder explicativo, incluindo novos conceitos, reinterpretando certos processos e reformulando sua rede conceitual. Esses questionamentos certamente não são novos, mas possuem um diferencial sociológico em relação a críticas mais antigas. Esse diferencial deve-se à constituição de um grupo de pesquisadores interessado em investigar em profundidade o que é relegado a um segundo plano ou mesmo considerado anomalia pela perspectiva da Síntese Moderna.

Esta investigação tem como interesse empírico o modo como manuais científicos de ecologia dirigidos ao ensino superior concebem e abordam (i) os níveis de organização biológica próprios à pesquisa em ecologia e (ii) a teoria evolutiva. A análise desses materiais

---

<sup>1</sup> Ver tradução para o português do artigo de Gleason em Fernandez & Caldeira, 2013, e do capítulo I do livro de Clements em Nunes, Cavassan & Brando, 2013.

instrucionais justifica-se pela importância que representam na formação do pesquisador e do professor de biologia. Com base nos resultados dessa análise, este trabalho pretende também abordar problemas filosóficos que surgem dessas temáticas. Quanto aos níveis de organização biológica de interesse à ecologia, a reflexão filosófica envolverá o problema da relação parte-todo; quanto à teoria da evolução, envolverá problemas conceituais e controvérsias contemporâneas em torno da Síntese Moderna.

## 2 METODOLOGIA DA PESQUISA EMPÍRICA

Foi realizada uma análise qualitativa de quatro livros didáticos de ecologia utilizados no ensino superior (quadro 1). Quanto ao exame sobre níveis de organização, utilizou-se principalmente a Introdução das referidas obras, visto que é lá que os autores mencionam explicitamente essas questões. É no capítulo introdutório dos livros didáticos que estão expostos os temas mais gerais, incluindo as referências ao objeto de estudo. Por isso mesmo, é lá onde melhor se instigam os problemas filosóficos dessa natureza. Quanto à análise da abordagem evolutiva, além da Introdução fez-se referências à estrutura dos livros, como a menção a quantos e quais capítulos possuem a evolução como tópico central. Para os dois exames em questão, o prefácio das obras também foi utilizado. Os resultados obtidos foram apresentados a partir da transcrição de trechos (citações) das quatro obras examinadas e por meio de algumas de suas figuras.

<b>Nomes</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Editora</b>	<b>Ano</b>
A Economia da Natureza	Robert E. Ricklefs	Guanabara Koo-gan	2011
Ecologia	M. Cain, W. Bowman, S. Hacker	Artmed	2011
Ecologia – de Indivíduos a Ecossistemas	M. Begon, C. Townsend, J. Harper	Artmed	2007
Fundamentos de Ecologia	Eugene P. Odum	Fundação Calouste Gulbenkian	2004

**Quadro 1.** Manuais de ecologia de ensino superior analisados neste trabalho.

A escolha desses quatro livros se deu pela experiência do autor desta pesquisa na área de ecologia, envolvendo basicamente dois critérios: reconhecimento e atualidade. Odum é o ecólogo mais reconhecido entre os autores do quadro acima. Até aproximadamente os anos 2005, segundo testemunhos de docentes da área, a ecologia nas universidades brasileiras era em boa parte ensinada por meio da obra de Odum. Os livros de Begon, Townsend e Harper (2007) e de Ricklefs (2011), estão em sua quarta e sexta edição em português, respectivamente. Eles têm sido amplamente utilizados, constituindo a bibliografia básica no processo seletivo de pós-graduação em ecologia de muitas universidades públicas do Brasil, conforme levantamento informal do autor deste artigo. O livro de Cain, Bowman e Hacker teve sua primeira tradução para o português em 2011 e foi incluído na amostra principalmente por sua atualidade, junto à consideração de que, desde sua tradução, vem substituindo, em parte, os outros três livros em disciplinas de ecologia do ensino superior. Os professores que o adotam têm ressaltado a sua qualidade no conteúdo, na estrutura e na didática.

### **3 NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO PRÓPRIOS À ECOLOGIA E A RELAÇÃO PARTE-TODO**

Neste tópico, serão feitas (i) uma análise sobre a concepção dos autores dos livros-texto quanto aos níveis de organização biológica de interesse aos ecólogos, (ii) um exame acerca de se esses autores reconhecem uma importância diferencial de certos níveis para os estudos em ecologia e (iii) uma problematização filosófica mais ampla a partir de i e de ii, envolvendo o problema da relação parte-todo.

Todos os quatro livros examinados tratam dos níveis de organização biológica nas seções de Introdução. Dentre eles, apenas Begon, Townsend e Harper (2007) não trazem uma figura abordando o tema. As imagens presentes nos outros três livros são bastante esclarecedoras, merecendo ser apresentadas e examinadas. Elas são as seguintes:

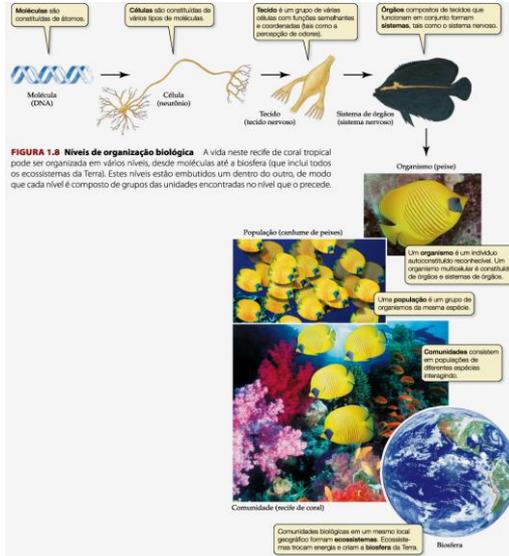


Fig. 1. Níveis de organização apresentados no capítulo introdutório de *Ecologia* (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 11).

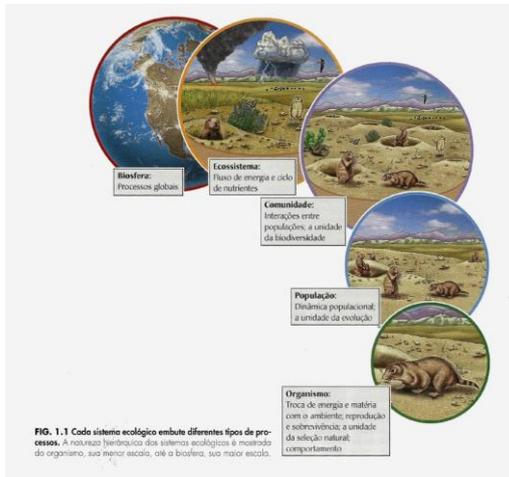
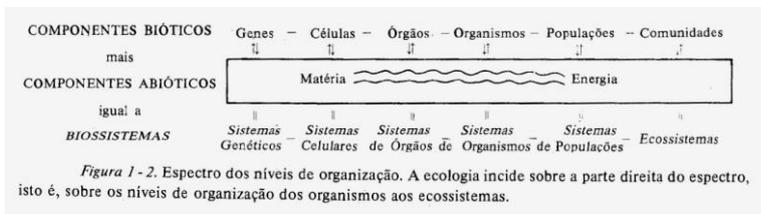


Fig. 2. Níveis de organização e seus processos apresentados no capítulo introdutório de *A Economia da Natureza* (Ricklefs, 2011, p. 3).



**Fig. 3.** Níveis de organização apresentados no capítulo introdutório de *Fundamentos de Ecologia* (Odum, 2004, p. 6).

Começando a análise pela imagem da Figura 2, de Ricklefs (2011), ela mostra os sistemas do nível de organismo até o nível de biosfera. No seu entendimento, são cinco os níveis de organização que constituem objeto de estudo da ecologia:

Um sistema ecológico pode ser um organismo, uma população, um conjunto de populações vivendo juntas (frequentemente chamado de comunidade), um ecossistema ou toda a biosfera. Cada sistema ecológico menor é um subconjunto de um próximo maior, e assim os diferentes tipos de sistemas ecológicos formam uma hierarquia. (Ricklefs, 2011, p. 3)<sup>2</sup>

Por sua vez, Begon, Townsend e Harper (2007) estabelecem a preponderância de três níveis:

A ecologia tem três níveis de interesse: *organismo* individual, *população* (formada por indivíduos da mesma espécie) e *comunidade* (que consiste em um número maior ou menor de populações). (Begon, Townsend e Harper, 2007, p. IX)

Odum (2004, p. 6) enfatiza, como se lê na legenda de sua ilustração, aqui denominada Figura 3, que “a ecologia incide [...] sobre os níveis de organização dos organismos aos ecossistemas”.

<sup>2</sup> Não é sem propósito que Ricklefs refere-se a uma comunidade como “um conjunto de populações vivendo juntas”. Para esse autor, o que chamamos comunidade é uma entidade artificial; nada além de uma sobreposição de populações. Essa concepção é exposta em Ricklefs (2008) e obteve uma resposta em Brooker e colaboradores (2009). Essa controvérsia remonta, *mutatis mutandis*, aos trabalhos de Clements (1916) e Gleason (1926), indicando que mesmo a ecologia contemporânea não possui uma interpretação única acerca da ontologia ou da natureza das comunidades biológicas.

De modo semelhante a Odum, Cain, Bowman e Hacker (2011) afirmam que “em geral os estudos ecológicos enfatizam um ou mais dos seguintes níveis: organismos, populações, comunidades e ecossistemas” (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 10). No entanto, como se vê na sua ilustração aqui representada na Figura 1, eles indicam os diferentes níveis abaixo de organismo (moléculas, células, tecido e órgãos), exemplificando o modo pelo qual constituem objeto de estudo para a ecologia:

Alguns ecólogos estão interessados em como determinados genes ou proteínas possibilitam os organismos a responder aos desafios do ambiente. Outros ecólogos estudam como hormônios influenciam interações sociais, ou como tecidos especializados ou sistemas de órgãos permitem aos animais resistir a ambientes extremos. (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 10)

Assim, a ecologia trata, para Cain, Bowman e Hacker (2011), principalmente, de quatro níveis de organização: organismos, populações, comunidades e ecossistemas. No entanto, eles enfatizam a importância de níveis abaixo, como o nível molecular, celular, de tecidos e órgãos. Além disso, nessa obra, como na de Ricklefs, é mencionado o nível de biosfera.

Em resumo, Ricklefs (2011) não fala em genes, proteínas ou sistemas de órgãos, delimitando os objetos de estudo da ecologia como sendo os sistemas em nível de organismo, população, comunidade, ecossistema e biosfera. Em contrapartida, Begon, Townsend e Harper (2007) destacam apenas três níveis: organismo, população e comunidade. Supõe-se, no entanto, que outros níveis podem ter relevância na medida em que contribuam para a compreensão de algum destes três níveis mencionados. Em todo caso, dada essa concepção, o ecossistema não possuiria (ou não deveria possuir) um nível de organização que se constitui em objeto de estudo para os ecólogos.

Diferentemente, e de modo ainda mais restritivo, Odum (2004) menciona os níveis de sistema de organismos, de populações e de ecossistemas, mas dá primazia a este último. Os níveis de sistemas de organismos e de populações só teriam importância por sua contribuição ao nível ecossistêmico. Como afirma Odum:

[...] os capítulos estão dispostos de acordo com os conceitos de níveis de organização [...]. Parte-se do ecossistema, *dado ser este em última ins-*

*tância o nível com o qual há que tratar*, e depois serão considerados sucessivamente as comunidades, populações, espécies e organismos individuais. Depois voltar-se-á ao nível de ecossistema para considerar o desenvolvimento, a evolução e a modelação da natureza. (Odum, 2004, p. 8, sem itálico no original)

Essa concepção é radicalmente distinta daquela apresentada por Ricklefs (2011) que, embora destaque vários níveis, defende o estudo ao nível de organismo:

[...] **uma apreciação do organismo como a unidade fundamental da ecologia**. A estrutura e a dinâmica das populações, comunidades e ecossistemas *expressam* as atividades e interações dos organismos nelas contidos. (Ricklefs, 2011, p. xix, sem itálico no original)

Se, como pretende essa análise, as imagens e citações acima podem ser tomadas como indicadoras do modo com que os autores delimitam e enfatizam os objetos de estudo da ecologia, então há uma variação considerável em suas concepções.

Além disso, há outra diferença marcante no tratamento do tema por esses autores. Apenas Odum (2004) expõe uma abordagem teórico-filosófica acerca dos níveis de organização. Ele destaca:

O que se descobre a um dado nível ajuda no estudo de outro nível, embora nunca explique por completo os fenômenos que neste ocorrem. Isto constitui um ponto importante, dado algumas pessoas sustentarem, por vezes, ser inútil trabalhar com populações e comunidades complexas quando as unidades menores ainda não estão completamente compreendidas. Se esta ideia fosse seguida até a sua conclusão lógica, todos os biólogos deveriam concentrar-se num só nível, o celular, por exemplo, até resolverem os problemas deste nível; depois poderiam estudar tecidos e órgãos. De fato, esta filosofia foi largamente defendida até os biólogos terem descoberto que cada nível tem características que o conhecimento do nível imediatamente inferior só em parte explica. Por outras palavras, nem todos os atributos de um nível mais alto podem ser previstos se apenas se conhecerem as propriedades do nível inferior. (Odum, 2004, p. 7)

Odum está fazendo uma crítica ao que é normalmente tratado como reducionismo epistemológico, segundo o qual o conhecimento das partes é necessário e suficiente para a compreensão do todo. Esse tema envolve o problema da relação parte-todo, tendo expressividade

histórica o debate apresentado em sua forma dicotômica reducionismo/holismo.

Mario Bunge (1919-) considera como alternativa às posições do referido debate o que ele concebe como *sistemismo*. Sua abordagem propõe um modelo de sistema concreto que inclui sua composição, ambiente, estrutura e mecanismo(s). Dessa forma, para um entendimento satisfatório de um dado sistema, seria necessário desvendar essas quatro propriedades. Por exemplo, se considerarmos a ecologia em seu nível populacional, os organismos de determinada espécie num determinado local constituiriam os componentes de nosso sistema; os organismos de outras espécies e os fatores abióticos que interagem com essa população constituiriam seu ambiente; as relações entre os organismos dessa população constituiriam sua estrutura; e a reprodução, a dispersão e o cuidado parental poderiam constituir os mecanismos responsáveis por manter esse sistema. De acordo com Bunge, “se o mecanismo central falha, o mesmo acontece com o sistema como um todo” (Bunge, 2010, p. 188).

Sua abordagem é diferente, contudo, daquelas que comumente são tratadas como teorias de sistemas. Para Bunge, essas teorias, como as de Bertalanffy (1968) e de Laslo (1972), são holistas. Ele entende que o holismo aborda sistemas como um todo, “mas se recusa a analisá-los quanto a explicar a emergência e a análise das totalidades em termos de seus componentes e das interações entre eles” (Bunge, 2003, p. 38). Na sua concepção, o problema com a abordagem individualista é que “ela enfoca a composição de sistemas e se recusa a admitir quaisquer entidades supra-individuais ou suas propriedades” (Bunge, 2003, p. 38). Possui centralidade na exposição de Bunge o chamado “problema da emergência”, isto é, a maneira com que surgem propriedades emergentes quando da estruturação de determinados componentes em sistemas. Essas propriedades são definidas por Bunge (1999) da seguinte maneira:

*P* é uma propriedade emergente de uma coisa *b* se e somente se *b* ou é uma coisa (sistema) complexa em que nenhum de seus componentes possui *P* ou *b* é um indivíduo que possui *P* por ser um componente de um sistema (ou seja, *b* não possuiria *P* se fosse independente ou isolado). (Bunge, 1999, p. 38)

Essa definição de Bunge tem o mérito de ser clara e facilmente aplicável. A estrutura, estabilidade, diversidade e história de um sistema ecológico em nível populacional poderiam constituir o primeiro exemplo, na medida em que são propriedades do sistema que nenhum de seus componentes possui. Diversas categorias, tais como predador, mutualista, estrategista *k* e macho-alfa constituem-se no segundo exemplo, visto que os organismos possuem tais propriedades apenas na medida em que são componentes de um sistema.

Nenhum dos quatro livros analisados utiliza, em sua Introdução, os termos reducionismo, holismo ou emergência de propriedades. Em outra obra, no entanto, Odum (1988) defende o holismo e apresenta o conceito de propriedades emergentes. A ideia trazida é simplesmente a de que “o todo é mais do que a soma de suas partes”. Mas esta analogia apresenta problemas sérios. Primeiro, porque ela é mais adequada como uma crítica ao atomismo (Levine, Sober e Wright, 1987) do que ao reducionismo<sup>3</sup>; segundo, porque esta analogia admite a prioridade ontológica das partes em relação ao todo, assemelhando-se, portanto, ao próprio programa reducionista, o qual pretendia criticar (Levins e Lewontin, 1985).

Begon, Townsend e Harper (2007) mencionam o termo “propriedades emergentes” no seu capítulo sobre comunidades, utilizando essa mesma analogia. Mas eles vão além ao citar exemplos ecológicos de tais propriedades, nomeadamente, os limites de similaridade entre espécies competidoras e a estabilidade de teias alimentares frente à perturbação. Essas constituiriam, de fato, propriedades emergentes na definição apresentada por Bunge.

David Blitz, em seu livro *Emergent Evolution* (Blitz, 1992; para uma revisão ver Gottlieb, 1994) apresenta uma tipologia de cinco teorias (mais propriamente, teses) sobre a relação parte-todo, das quais reducionismo e holismo seriam os extremos do espectro. Ordenadas desde aquelas que dão primazia às partes até as que dão primazia ao todo, temos: Reduccionismo, Mecanicismo, Emergentismo, Organicis-

---

<sup>3</sup> Trata-se de uma distinção entre atomistas e reducionistas. Os primeiros negariam o poder explanatório das relações entre as partes, enquanto os segundos não teriam problemas em aceitá-lo.

mo e Holismo<sup>4</sup>. Nessa concepção, o debate reducionismo/holismo aparece apenas como uma feição grosseira de um problema muito mais sutil, o que já havia sido exposto por Levine, Sober e Wright (1987) tendo em vista os fenômenos sociais.

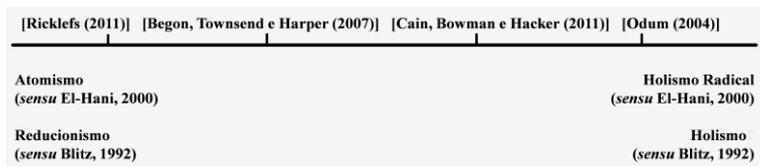
Charbel El-Hani (2000) propõe um modelo espectral ainda mais detalhado e informativo que o de Blitz (1992). A tipologia apresentada por El-Hani envolve seis posições metodológicas que abrangem a dimensão da ontologia, da epistemologia, a ênfase (dada às partes, ao todo ou à consideração de uma unidade integrada e autônoma) e o tipo de redução (ontológica ou epistemológica, podendo ser, para o segundo caso, parcial ou completa). As seis posições metodológicas são: Atomismo, Reduccionismo Radical, Reduccionismo Moderado, Fisicalismo Não-Redutivo, Holismo Moderado, Holismo Radical. A inclusão de novas teses e categorias no modelo de El-Hani o torna ainda mais eficaz analiticamente e, portanto, mais esclarecedor.

Infelizmente, não temos informações suficientes para avaliar com segurança quais exatamente seriam as posições dos autores dos livros-texto examinados. No entanto, um exame em menor detalhe, exclusivamente comparativo, pode ainda ser realizado. Para isso, precisamos de um critério que nos dê indícios de suas visões. Esse critério pode ser relativo às respostas possíveis sobre a seguinte questão: **qu岸tos e quais níveis de organização biológica são fundamentais para se compreender os sistemas ecológicos?**

Já temos as respostas dos autores de cada uma das obras analisadas. Como vimos, Ricklefs (2011, p. xix) defende o “*organismo* como unidade fundamental da ecologia”, além de afirmar que a “estrutura e a dinâmica das populações, comunidades e ecossistemas *expressam* as atividades e interações dos organismos nelas contidos”. Begon, Townsend e Harper (2007, p. IX) afirmam que a “ecologia tem *três níveis* de interesse: organismo [...], população [...] e comunidade”. Cain, Bowman e Hacker (2011, p. 10) dão ênfase a quatro níveis: “organismo, população, comunidade *e ecossistema*”. Por fim, Odum (2004, p. 8) afirma ser o ecossistema “em última instância o nível com o qual há que tratar”.

---

<sup>4</sup> Trata-se, em realidade, de dez teses, porque cada uma delas possui uma dimensão ontológica e outra epistemológica.



**Fig. 4.** Espectro de posições dos livros-texto analisados referente a teorias da relação parte-todo<sup>5</sup>.

Considerando um espectro de posições que vai de Reduccionismo (Blitz, 1992) e Atomismo (El-Hani, 2000) até Holismo (Blitz, 1992) e Holismo Radical (El-Hani, 2000), os livros didáticos analisados foram topologicamente dispostos, pelo autor do presente artigo, conforme a figura 4.

#### 4 TEORIA EVOLUTIVA E SUAS CONTROVÉRSIAS CONTEMPORÂNEAS

Neste tópico, serão examinados (i) a importância que os autores dos livros-texto selecionados concedem à teoria da evolução para os estudos em ecologia, (ii) como esses livros apresentam tal teoria, isto é, que fatores recebem destaque e (iii) a abordagem dos livros, problematizada por meio de aspectos atualmente considerados controversos da Síntese Moderna.

Começemos a análise com Odum (2004), pelo fato de ser a mais breve. Essa obra não menciona a teoria evolutiva em seu capítulo introdutório. Ademais, dos seus 21 capítulos, apenas dois abordam um conteúdo evolutivo. Trata-se do Capítulo 8 e do Capítulo 9, intitulados, respectivamente, “A espécie e o indivíduo no ecossistema” e “Desenvolvimento e evolução do ecossistema”. Se nossos indicado-

---

<sup>5</sup> Apenas as posições mais extremas propostas por El-Hani (2000) e Blitz (1992) estão apresentadas nesta imagem. Além disso, não se pretende aludir que os autores mais afastados no espectro adotam as posições extremas mencionadas na figura. A utilidade da imagem é apenas comparativa, visto que não temos informações suficientes para uma classificação desses autores. Além disso, também não se está insinuando uma equivalência entre as tipologias de Blitz e as de El-Hani. Como vimos mais acima, trata-se de modelos distintos com tipologias também distintas.

res são minimamente adequados, então a evolução não constitui um tema central à ecologia para Odum (2004).

Begon, Townsend e Harper (2007), em sua pequena Introdução, apresentam a já clássica distinção de Ernst Mayr (1904-2005) entre causas próximas e remotas (Mayr, 1982, cap. 2, 1997, cap. 4). A menção a causas remotas e seu entendimento de que elas fazem parte do estudo da ecologia acabam por vincular essa disciplina à evolução, dado que para abordar tais causas é necessário um enfoque evolutivo. O capítulo introdutório de Begon, Townsend e Harper, portanto, menciona, mesmo que indiretamente, a importância de aspectos evolutivos para a pesquisa ecológica. Porém, com base apenas na leitura de sua Introdução, parece que a evolução é situada numa posição secundária, o que não se mantém com relação ao livro como um todo. O primeiro capítulo após a Introdução chama-se “Organismos em seu ambiente: o cenário evolutivo”. Seu objetivo é enfatizar que a teoria da evolução constitui um quadro conceitual de interesse para as pesquisas em ecologia. No início desse capítulo, os autores citam a famosa frase de Theodosius Dobzhansky (1900-1975), segundo a qual “nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução”. Um olhar mais detalhado a esse capítulo permite concebê-lo como fortemente adaptacionista, herdeiro da concepção tardia dos arquitetos da Síntese Moderna (Gould, 1983). Não há outro capítulo específico sobre aspectos evolutivos, mas esses são tratados de modo difuso ao longo do livro. Em relação a isso eles afirmam que:

Em ecologia, existem muitos problemas que demandam explicações evolutivas, distantes [fazendo referência às causas remotas, em oposição às causas próximas]: “Como os organismos passaram a ter determinadas combinações de tamanho, taxa de desenvolvimento, rendimento reprodutivo, etc.?” (Capítulo 4). “Por que os predadores adotam determinados padrões de comportamento de forrageio?” (Capítulo 9). “Por que as espécies coexistentes são muitas vezes semelhantes, mas raramente as mesmas?” (Capítulo 19). (Begon, Townsend e Harper, 2007, p. X)<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Essas perguntas não são títulos nem subtítulos dos referidos capítulos (4, 9 e 19), mas questões que são abordadas no interior dos mesmos.

Ricklefs (2011), já na primeira página de seu Prefácio, afirma que, nesta nova edição, uma de suas metas é:

Enfatizar mais profundamente os princípios da evolução como uma *base da ecologia*, com repercussões que se estendem até mesmo na gestão da mudança global. (Ricklefs, 2011, p. xix, sem itálico no original)

Além disso, ele afirma que uma das visões persistentes na nova edição de sua obra é “a posição central do pensamento evolutivo no estudo da ecologia” (Ricklefs, 2011, p. xix). Ainda no seu Prefácio, um dos tópicos chama-se “Cobertura consolidada da evolução”, no qual o autor afirma que:

O novo Capítulo 6, reescrito, apresenta os princípios evolutivos darwinianos, incluindo a seleção natural, as adaptações como um processo e tópicos relevantes da genética populacional. O capítulo proporciona uma discussão mais focalizada da evolução ao juntar tópicos anteriormente separados em diversos capítulos. (Ricklefs, 2011, p. xx)

Assim como Begon, Townsend e Harper (2007), Ricklefs (2011) apresenta a distinção entre causas próximas e remotas. Essa é a única referência (feita, portanto, de modo indireto) à evolução no seu capítulo introdutório. No entanto, uma avaliação feita com base nos seus outros capítulos mostra que a obra de Ricklefs (2011) é a que mais destaca a temática evolutiva. Dos seus 27 capítulos, pelo menos cinco deles abordam explícita e diretamente a evolução. São eles: “Evolução e Adaptação” (Capítulo 6); “As Histórias de vida e o Ajustamento Evolutivo” (Capítulo 7); “Sexo e Evolução” (Capítulo 8); “Família, Sociedade e Evolução” (Capítulo 9); e “Evolução das interações das espécies” (Capítulo 17). Esses cinco capítulos juntos, somados em número de páginas, perfazem 18% do conteúdo da obra.

A abordagem evolutiva de Ricklefs (2011) também é fortemente moldada pelo quadro interpretativo da Síntese Moderna. Além da citação acima – em que os três termos de destaque são “seleção natural”, “adaptações” e “genética populacional”, sendo esta um ramo da ecologia na visão do autor (Ricklefs, 2011, cap. 6) – outra informação relevante para compreender sua abordagem está na relação que ele estabelece entre a chamada plasticidade fenotípica e o processo evolutivo. A primeira é invariavelmente tomada como uma característica

“sujeita à mudança evolutiva”, podendo “ela própria ser uma adaptação que intensifica o ajustamento do indivíduo” (Ricklefs, 2011, p. 115 e 109). Sua mensagem é a de que a plasticidade fenotípica é moldada pela pressão seletiva, ou seja, sofre os efeitos da seleção natural. No entanto, ela nunca é interpretada como um fenômeno capaz ele próprio de moldar a eficácia da seleção, podendo, inclusive, preceder as alterações genéticas nas populações. Na interpretação da Síntese Moderna, esposada aqui por Ricklefs (2011), a relação entre plasticidade e seleção é uma via de mão única. Há trabalhos importantes, no entanto, que contrariam a universalidade dessa interpretação, destacando a possibilidade de o processo ocorrer por meio da via inversa (por exemplo, Pigliucci, 2001; West-Eberhard, 2003).

Entre as quatro obras analisadas, a de Cain, Bowman e Hacker (2011) é a que mais dedica espaço para uma abordagem evolutiva na sua Introdução. Na sessão intitulada “Alguns termos-chave são úteis para o estudo das conexões na natureza” são introduzidos três conceitos associados à teoria da evolução. O primeiro é o próprio termo *evolução*, o segundo é *seleção natural* e o terceiro é *adaptação*. Novamente, a abordagem parece não se distanciar da tradicionalmente apresentada pela Síntese Moderna. Cada um dos termos será examinado a seguir.

A evolução é definida de duas maneiras. De acordo com Cain, Bowman e Hacker,

A **evolução** pode ser definida como (1) mudança nas características genéticas de uma população ao longo do tempo ou como (2) descendência com modificação, o processo pelo qual os organismos gradualmente acumulam diferenças a partir de seus ancestrais. (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 13)

Embora os autores não argumentem sobre a distinção entre esses dois predicados, há algumas questões interessantes a serem analisadas. A primeira questão é que a maioria dos livros, não apenas de ecologia, mas de biologia em geral, tratam a evolução como mudança na frequência alélica de uma dada população, isto é, o que está apresentado em (1). No entanto, os autores trazem a proposta (2) como distinta e sendo também válida para o conceito de evolução. De imediato, podemos observar um problema lógico nesta definição, visto que (1) é um caso particular de (2). Não haveria, portanto, duas definições, mas apenas uma, a (2), em que se poderia especificar (1). Todavia, é possí-

vel (embora improvável) que sua distinção esteja enfatizando que o predicado (2) não se reduz ao (1), ou seja, descendência com modificação não estaria associada apenas à mudança genética. Esse é um tema interessantíssimo a ser examinado, constituindo-se outra controvérsia contemporânea em torno da Síntese Moderna.

Desde meados do século XIX, com as ideias de Charles Darwin (1809-1882) e de Alfred Russel Wallace (1823-1913), até as duas primeiras décadas do século XX, o que hoje chamamos de evolução era definida basicamente pelo predicado (2), isto é, como *descendência com modificação*. A partir da Síntese Moderna, concebida por volta dos anos de 1930 por cientistas como Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr e George Gaylord Simpson (1902-1984), a evolução passou a ser entendida como a proposição (1), isto é, uma descendência com modificação através da elucidação de entidades envolvidas no processo de transmissão de caracteres, quais sejam, os genes.

No entanto, desde essa época até hoje, tem se descoberto novos mecanismos de herança, de modo que a Síntese Moderna pode ser reconhecida atualmente como uma restrição ou constrição demasiada, que enfoca desproporcionalmente nos genes como entidades fundamentais de herança. Se isso é correto, a Síntese Moderna pode ser caracterizada como *genecentrista*.

Pigliucci e Müller (2010) fazem essa caracterização, considerando-a (além de *genecentrista*) *gradualista* e *externalista*. Eles afirmam que a Síntese Moderna pressupõe uma evolução gradual, o que não estaria de acordo com os conhecimentos atuais, dada a importância da plasticidade fenotípica e de formas de herança não genéticas para a evolução, além da descontinuidade dos registros geológicos. Em relação ao externalismo, eles afirmam que o quadro teórico da Síntese Moderna interpreta a morfologia dos organismos como sendo unicamente o produto de regimes seletivos externos, desconsiderando outros aspectos que poderiam afetar os padrões evolutivos, como aqueles relacionados ao desenvolvimento dos organismos.

Dessa forma, Pigliucci e Müller pretendem livrar a biologia evolutiva do compromisso com estes três “ismos” (genecentrismo, gradualismo e externalismo). Eles enfatizam, contudo, que não se trata de uma revolução ou mudança de paradigma no sentido (interpretado por eles) de Thomas Kuhn (1970). Muitos fatores precisariam ser

mantidos. Sua conclusão, até o momento, é de que a Síntese Moderna é limitada, necessitando de uma expansão e reestruturação para se ajustar às descobertas empíricas e aumentar seu poder explicativo, reinterpretando processos até agora negligenciados. Essa é também a concepção de um grupo maior de pesquisadores, que ficou conhecido como “os 16 de Altenberg”<sup>7</sup>. Eles propõem o que chamam de Síntese Estendida da Evolução. Uma formulação sistemática dessa proposta em comparação com a Síntese Moderna pode ser encontrada no recente trabalho de Laland e colaboradores (2015).

Jablonka e Lamb (2005) também destacam a necessária expansão que a teoria precisa considerar para que dê conta das novas descobertas. No entanto, mais do que os outros autores, elas enfatizam que a teoria evolutiva deve sofrer mudanças conceituais profundas se quiser tornar compatíveis fenômenos que são anômalos para o quadro teórico atualmente aceito. Elas destacam principalmente que (a) as unidades hereditárias não se reduzem aos genes, (b) algumas variações hereditárias são não-randômicas em sua origem, (c) algumas informações adquiridas são herdadas e (d) alterações evolutivas podem resultar de instrução além da seleção natural. Seu livro enfatiza quatro diferentes mecanismos de herança que podem sofrer mudança evolutiva: genéticos, epigenéticos, comportamentais e simbólicos. Há uma extensa argumentação e apresentação de exemplos com relação a essas formas de herança, trazendo em comum com Pigliucci e Müller (2010) a crítica ao genocentrismo. Com efeito, há trabalhos mais antigos, tais como o de Stephen Jay Gould (1981) e de Richard Lewontin (1983), que também compartilham dessa crítica especificamente.

Feita essa digressão, originada devido à citação anterior de Cain, Bowman e Hacker (2011) que definia *evolução*, passemos a uma nova citação. Esses autores apresentam a seguinte definição para *seleção natural*:

---

<sup>7</sup> “16 de Altenberg” é como ficou conhecido o grupo de biólogos evolutivos e filósofos da ciência (que inclui os citados Pigliucci, Müller e Jablonka) que se reuniram no *Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research* em Altenberg (Áustria) de 11 a 13 de julho de 2008. O objetivo dessa reunião foi discutir o *status* atual da teoria evolutiva, incluindo uma série de avanços empíricos e conceituais que têm marcado o campo nos últimos anos (Whitfield, 2008).

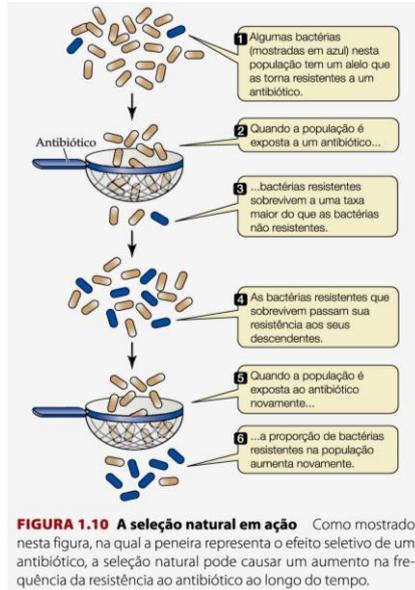
Processo evolutivo no qual os indivíduos que possuem determinadas características sobrevivem ou se reproduzem em uma taxa maior do que outros indivíduos devido a essas características. (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 13)

Para que a seleção natural se constitua num processo cumulativo, no entanto, é necessário que estas características sejam herdadas. Qual o mecanismo de herança associado não está em questão, mas sim a necessidade que estas características sejam levadas adiante para que a seleção natural promova uma diferença significativa dos novos indivíduos em relação aos seus descendentes mais remotos. Para que a seleção natural exerça um papel evolutivo, não basta que indivíduos sobrevivam ou se reproduzam numa taxa maior devido a certas características; é preciso que seus descendentes adquiram essa(s) característica(s), seja geneticamente ou por outros mecanismos. Na sua expressão mais simples, seleção natural é *variação herdável em aptidão*.

O próximo termo – *adaptação* – é definido como “característica de um organismo que aumenta sua capacidade a sobreviver e reproduzir em seu ambiente” (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 13). Essa é uma definição possível e válida, mas não está isenta de problemas. O entendimento da adaptação como uma *característica* acaba ocultando a história de sua consolidação e as interações que a moldaram. Mais satisfatória é a definição de adaptação como um processo. Esta é a visão de Ricklefs (2011), a qual é destacada, em trecho já citado, quando ele afirma que:

O novo Capítulo 6, reescrito, apresenta os princípios evolutivos darwinianos, incluindo a seleção natural, *as adaptações como um processo* e tópicos relevantes da genética populacional. (Ricklefs, 2011, p. xx, sem itálico no original)

Além desses conceitos, Cain, Bowman e Hacker (2011) apresentam uma figura com o que chamam *seleção natural em ação* (figura 5). Trata-se de uma imagem em que há uma variedade de bactéria sobre uma peneira – que seria um antibiótico representando o efeito seletivo –, e abaixo há uma variedade limitada delas, ou seja, apenas parte do que havia acima. Dessa forma, as bactérias que passaram pela peneira são aquelas mais resistentes ao antibiótico, e são, portanto, o resultado da seleção natural em ação.



**Fig. 5.** Metáfora da seleção natural apresentada no capítulo introdutório de *Ecologia* (Cain, Bowman e Hacker, 2011, p. 14).

Essa é provavelmente a interpretação predominante a respeito da evolução por seleção natural, na qual esta seria um “filtro” passivo, mais do que um processo criativo. No entanto, essa concepção possui críticas contundentes. A metáfora do efeito seletivo como uma peneira não mostra a dinamicidade do processo, isto é, a mudança da pressão de seleção natural com a variação do ambiente. Para isso, seria preciso mostrar que a peneira muda, que o processo de seleção natural exerce efeitos distintos de acordo com a mudança no ambiente. Além disso, essas alterações ambientais podem ser realizadas pelos próprios organismos que sofrem evolução, de modo que estes não resultariam de um processo que lhes é alheio. Haveria, em vez disso, uma relação dialética entre organismo e ambiente. Essa é basicamente a crítica de Richard Lewontin, que o permite concluir que os “organismos não estão adaptados a seus ambientes: eles os constroem a partir das informações e peças do mundo externo.” (Lewontin, 1983, p. 208). O desenvolvimento desta ideia ficou conhecido pelo conceito

de *construção de nicho* (Odling-Smee, 1988). Esse conceito é reivindicado pelos proponentes da Síntese Estendida, como um processo negligenciado pela abordagem evolutiva atual (Odling-Smee, Laland & Feldman, 2003).

Por robustas que são, as críticas contemporâneas à Síntese Moderna (algumas das quais mencionamos brevemente neste tópico 4) nos deixam as seguintes dúvidas: até quando é válido manter o compromisso com certos pressupostos e continuar a desenvolver estudos por eles orientados? Em que momento anomalias devem ser encaradas como contraexemplos e investigadas de modo sistemático por um grupo de pesquisadores na tentativa de articulá-las teoricamente? Quando o dogma na ciência deixa de ser funcional e torna-se um entrave ao desenvolvimento científico? Essas questões necessariamente ficarão em aberto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas dos níveis da realidade, da relação parte-todo e da emergência de propriedades constituem uma família de questões ontológicas e epistemológicas interessantes de serem examinadas com base na ecologia. Trata-se, na verdade, de problemas que podem ser mais bem esclarecidos por meio de uma via dupla: a filosofia e a ecologia possuem relações estreitas, de modo que uma e outra pode tanto contribuir a tais questões quanto beneficiar-se delas.

Os manuais de ensino superior de ecologia aqui analisados apresentam os níveis de organização próprios e fundamentais à ecologia como algo consensual. Porém, a investigação comparada mostrou que suas abordagens são extremamente distintas e, em alguns casos, incompatíveis. Isso indica que esse consenso, em vez de real, é produzido pela abordagem do autor. Na medida em que tal assunto constitui a principal base para delimitar o escopo dos estudos em ecologia, podemos questionar se essa pluralidade de concepções é fértil e produtiva ou representa certa imaturidade da ciência ecológica.

Em 1964, Dobzhansky afirmou que “nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução”; em 2008, Grant e Grant destacaram que “nada em biologia evolutiva faz sentido exceto à luz da ecologia”; e, em 2009, Pelletier enfatiza que “nada em evolução ou ecologia faz sentido exceto uma à luz da outra”. Isso parece indicar que já está

bem estabelecida a centralidade da evolução para a biologia, mas que mais recentemente a importância da ecologia para a evolução e as relações entre essas duas disciplinas têm sido cada vez mais enfatizadas. O conceito de construção de nicho (Odling-Smee, 1988) e os conceitos mais recentes de herança ecológica (Odling-Smee, Laland & Feldman, 2003) e de dinâmicas eco-evolutivas (Pelletier, Garant & Hendy, 2009), por exemplo, enfatizam a necessidade em se estudar o sistema de forma conjunta, ecológica e evolutivamente.

Tendo em vista essas relações, poder-se-ia esperar que os livros-texto trouxessem um enfoque mais ecológico ao processo evolutivo, ressaltando, por exemplo, a importância das atividades dos organismos no ambiente. No entanto, mesmo tratando-se de livros de ecologia, pôde-se notar que a teoria evolutiva é tratada basicamente em sua forma estabelecida pela Síntese Moderna, através do destaque quase exclusivo à herança genética (podendo incluir efeitos de mutação, deriva e dispersão) e à seleção natural como mecanismos suficientes para explicar a evolução da vida na terra. De fato, esta perspectiva é ainda predominante hoje em dia. Uma das propostas da Síntese Estendida é justamente reinterpretar e ressaltar o papel dos fatores ecológicos na teoria evolutiva; não mais tratá-los como simples filtros ambientais, mas como um conjunto de processos – entre eles, construção de nicho, plasticidade fenotípica e herança ecológica – que exercem papéis importantes em curto e longo prazo para os padrões de evolução.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato ao Prof. Dr. Aldo Mellender de Araújo, entre outros motivos, pela confiança que depositou em meu projeto e pela oportunidade que me concedeu para participar de seu grupo de pesquisa. Também gostaria de agradecer aos revisores, por ter permitido uma melhora significativa na qualidade do artigo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BEGON, Michael; TOWNSEND, Colin; HARPER, John. *Ecologia: de Individuos a Ecossistemas*. Tradução de Paulo Luiz de Oliveira. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

- BERTALANFFY, Ludwig. *General system theory: foundations, development, applications*. Edição revisada. New York: George Braziller, 1968.
- BLITZ, David. *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer, 1992.
- BROOKER, Rob; CALLAWAY, Ragan; CAVIERIS, Lohengrin; KIKVIDZE, Zaal; LORTIE, Christopher; MICHALET, Richard; PUGNAIRE, Francisco; VALIENTE-BANUET, Alfonso; WHITHAM, Thomas. Don't Diss Integregation: A Comment on Ricklefs's Disintegrating Communities. *The American Naturalist*, 174: 919-927, 2009.
- BUNGE, Mario. *Buscar la Fiosofía en las Ciencias Sociales*. México: Siglo Veintiuno Editores, 1999.
- . *Emergence and Convergence: Qualitative novelty and the unity of knowledge*. Toronto: University of Toronto Press, 2003.
- . *Caçando a Realidade: a Luta pelo Realismo*. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2010.
- CAIN, Michael; BOWMAN, William; HACKER, Sally. *Ecologia*. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- CLEMENTS, Frederic Edward. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1916.
- EL-HANI, Charbel. Níveis da ciência, níveis da realidade: evitando o dilema holismo-reducionismo no ensino de ciências e biologia. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- FERNANDEZ, Fernanda; CALDEIRA, Ana Maria. As fases iniciais da Ecologia: as contribuições de Henry Allan Gleason. *Filosofia e História da Biologia*, 8 (3): 453-473, 2013.
- GLEASON, Henry Allan. The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 53: 7-26, 1926.
- GOTTLIEB, Gilbert. David Blitz. Emergent evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 30: 234-237, 1994.
- GOULD, Stephen Jay. *The Mismeasure of Man*. New York: W. W. Norton, 1981.
- . The hardening of the modern synthesis. Pp. 71-93, in: GRENE, M. (ed.). *Dimensions of Darwinism: themes and counterthemes*

- in Twentieth-Century Evolutionary Theory*. New York: Cambridge University Press, 1983.
- JABLONKA, Eva; LAMB, Marion. *Evolution in four dimensions: genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life*. Cambridge: MIT Press, 2005.
- KUHN, Thomas. *The structure of scientific revolutions*. 2<sup>a</sup> ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- LALAND, Kevin; ULLER, Tobias; FELDMAN, Marcus; STERELNY, Kim; MÜLLER, Gerd; MOCZEK, Armin; JABLONKA, Eva; ODLING-SMEE, John; WRAY, Gregory; HOEKSTRA, Hopi; FUTUYMA, Douglas; LENSKI, Richard; MACKAY, Trudy; SCHLUTER, Dolph; STRASSMANN, Joan. Does evolutionary theory need a rethink? *Nature*, 514: 161–164, 2014.
- LALAND, Kevin; ULLER, Tobias; FELDMAN, Marc; STERELNY, Kim; MÜLLER, Gerd; MOCZEK, Armin; JABLONKA, Eva; ODLING-SMEE, John. The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proceedings of the Royal Society B*, **282**: 1-14, 2015.
- LASZLO, Ervin. *Introduction to systems philosophy*. New York: Gordon and Breach, 1972.
- LEVINE, Andrew; SOBER, Elliott; WRIGHT, Erik. Marxism and methodological individualism. *New Left Review*. 162: 67-84, 1987.
- LEVINS, Richard; LEWONTIN, Richard. *The Dialectical Biologist*. Cambridge: Harvard University Press, 1985.
- LEWONTIN, Richard. Gene, organism and environment. Pp. 273-285, In: BENDALL, D. S. (ed.). *Evolution from Molecules to Men*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- MAYR, Ernst. *The growth of biological thought. Diversity, evolution and inheritance*. Cambridge: The Belknap Press, 1982.
- . *This is biology: the science of the living world*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 1997.
- NUNES, Patricia; CAVASSAN, Osmar; BRANDO, Fernanda. Frederic Edward Clements e o conceito de sucessão ecológica. *Filosofia e História da Biologia*, **8** (3): 617-626, 2013.

- ODLING-SMEE, John. Niche-constructing phenotypes. Pp. 73-132, In: PLOTKIN, Henry C. (ed.) *The Role of Behavior in Evolution*. Cambridge: MIT Press, 1988.
- ODLING-SMEE, John; LALAND, Kevin; FELDMAN, Marcus. *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- ODUM, Eugene. *Ecologia*. Tradução de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.
- . *Fundamentos de Ecologia*. Tradução de António Manuel de Azevedo Gomes. 7 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.
- PELLETIER, Fanie; GARANT, Dany; HENDRY, Andrew. Eco-evolutionary dynamics. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences*, 1523: 1483-1489, 2009.
- PIGLIUCCI, Massimo. *Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.
- PIGLIUCCI, Massimo; MULLER, Gerd. *Evolution: the extended synthesis*. Cambridge: MIT Press, 2010.
- RICKLEFS, Robert. *A Economia da Natureza*. Tradução de Pedro Paulo de Lima-e-Silva. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- . Disintegration of the ecological community. *American Naturalist*. 172: 741-750, 2008.
- WEST-EBERHARD, Mary Jane. *Developmental plasticity and evolution*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- WHITFIELD, John. Postmodern evolution? *Nature*, 455: 281-284, 2008.

**Data de submissão:** 06/11/2015

**Aprovado para publicação:** 03/12/2015



# El método deductivo en Buffon y su relación con tradiciones experimentales de su época

José Alsina Calvés \*

**Resumen:** Aunque influenciada inicialmente por las ideas sensualistas y empiristas de Locke y Hume, la metodología científica de Buffon evoluciona hacia un modelo deductivo, en el que de proposiciones metafísicas y cosmológicas se derivan hipótesis científicas particulares, que son posteriormente contrastadas con experiencias. Este método, racionalista y cartesiano, llega a su máxima expresión en *Las Épocas de la Naturaleza*. Todo ello aleja a Buffon de los estándares comúnmente admitidos en su época de “buena ciencia”, que eran de raíz empirista, inductivista y baconiana. Tradiciones experimentales tan importantes como la de los “fluidos sutiles” o la química de los gases tuvieron poca influencia en la obra de Buffon.

**Palabras clave:** cartesiano, deductivo, empirista, “fluidos sutiles”, inductivista, tradiciones experimentales

## The deductive method in Buffon and its relationship with the experimental traditions of its era

**Abstract:** Although initially influenced by the sensualist and empiricist ideas of Locke and Hume, Buffon’s scientific methodology evolves toward a deductive model, in which concrete scientific hypothesis are derived from metaphysical and cosmological propositions, which are subsequently contrasted with the experience. This method, rationalist and Cartesian, reaches its maximum expression in *Les époques de la nature*. All of this takes away Buffon from the standards generally accepted in his time as “good science”, which was rooted in empiricism, inductivism and Baconianism. Experimental traditions as important as the “subtle fluids” or the chemistry of the gases had little influence in the Buffon’s work.

---

\* Instituto Galileu Galilei. C/Corcega 603, 3º 1ª, Barcelona, Espanha, Zipcode 08025.  
E-mail: jalsina2@xtec.cat

**Key-words:** cartesianism, deductive, empiricism, “subtle fluids”, inductivist, experimental traditions

## 1 INTRODUCCION

Este artículo forma parte de un trabajo de investigación más amplio (*Génesis de conceptos geológicos a lo largo de los siglos XVII y XVIII: una perspectiva filosófica*) en el que se pretende estudiar la génesis de la geología como disciplina científica. Se dedica una atención especial a la figura de Jean Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), especialmente a su *Teoría de la Tierra*, contenida en la *Historia Natural*, y a las *Épocas de la Naturaleza* (Alsina, 2009, pp. 5-32). El modelo filosófico básico adoptado sería una síntesis entre las Tradiciones de Investigación descritas por Larry Laudan, con los modelos de selección natural de Toulmin, Hull, Richards y Campbell (Alsina, 2006).

Cada Tradición de Investigación es un linaje de teorías, y el parentesco o “aire de familia” entre ellas se percibe por la comunidad de conceptos y de métodos. Pero las Tradiciones de Investigación, como linajes evolutivos, están sujetas a cambio.

Las Tradiciones de Investigación compiten entre sí en el medio social y cultural para sobrevivir. También compiten las teorías científicas entre sí. En nuestro modelo, las teorías son las interactoras y los conceptos que las integran actúan de replicadores. Pero la selección no se ejerce solamente sobre los conceptos, sino también sobre los métodos, pues estos reflejan una cierta idea de la ciencia y de sus objetivos.

En nuestro modelo, Buffon forma parte de una tradición de investigación iniciada en el siglo XVII por Nicolas Steno (1638-1686), caracterizada por una fuerte impronta racionalista y cartesiana que la conduce hacia un método deductivo y a la construcción de grandes sistemas. Esta metodología la sitúa en conflicto con los estándares de “buena ciencia” propios de su época, que son de raíz empirista e inductivo.

En este artículo pretendemos estudiar:

- La evolución de la metodología de Buffon
- La metodología como un problema conceptual, es decir, como algo que debe adaptarse a los estándares aceptados de la ciencia en un momento determinado.

- La extinción de la Tradición de Investigación que Buffon representa como un fenómeno cuyas causas son más de tipo metodológico que conceptual.

## 2 EL METODO DE BUFFON EN LA HISTORIA NATURAL

El año 1749 se publicaba en París, en la Imprenta Real, los tres primeros volúmenes de la que sería la gran obra de Buffon: la *Historia Natural, general y particular* (Buffon, 1844). Va a ser objeto especial de nuestra atención el “Premier Discours: de la manier d’étudier et de traiter l’Histoire Naturelle” (Buffon, 1844, pp. 5-27). Más adelante nos ocuparemos de la *Teorie de la Terre* como obra protogeológica.

En el “Primer Discurso” se plantea un método para el estudio de la Historia Natural. En el momento en que Buffon aborda el estudio de la Historia Natural, ésta se perfila como una disciplina difusa, en el interior de la cual se atisba la geología como disciplina posible. En aquellos momentos la Historia Natural es una materia de límites borrosos, sin un método definido. Buffon pretende ser el Newton de la Historia Natural, y lo primero que debe hacer es desarrollar un método.

Ahora bien, el discurso de Buffon se centra básicamente en la cuestión de la clasificación de los organismos, es decir, en un tema que interesa a la botánica y a la zoología, y poco a la geología. Pero esta insistencia en cuestiones metodológicas relativas a los seres vivos tiene un importante corolario que sí que nos interesa: la delimitación entre seres vivos y minerales, y el impugnar la antigua división tripartita de reinos animal, vegetal y mineral, tal como veremos.

Buffon reivindica una Historia Natural general y particular. Esto significa impugnar la concepción más extendida en su momento de esta disciplina, según la cual debía limitarse a ser un catálogo clasificatorio de seres naturales. Buffon rechaza el método clasificatorio de Linneo, fundamentado en unos pocos caracteres, al que reputa de “artificial”, y le contrapone el suyo, basado en la idea de “equivalencia de caracteres”, y en un estudio globalista de la biología del organismo, que incluya cuestiones ecológicas y etológicas (en términos modernos). Para Roger (1988, p. 130) la Historia Natural de Buffon quiere ser una biología *avant la lettre*.

Pero esta biología *avant la lettre* de la que nos habla Roger implica también una geología. La consecuencia inmediata del método de clasificación de los seres vivos que postula Buffon es que las fronteras entre los tres reinos no son idénticas. Los reinos animal y vegetal tienen en común aspectos sustanciales que los distinguen radicalmente del mineral (Buffon, 1997, p. 50).

Todos los seres naturales son materia y tienen entre sí unas propiedades comunes. Pero el mineral es, según Buffon, materia bruta, inactiva, que solo actúa constreñido por las leyes de la mecánica. En cambio, animales y vegetales tienen en común una organización animada, la facultad de crecer y, sobre todo, la de reproducirse. Animales y vegetales están constituidos por “partes orgánicas primitivas e incorruptibles”: las moléculas orgánicas (Buffon, 1997, pp. 51-52).

Aunque el “Primer Discurso” (Buffon, 1844, pp. 5-27) tiene un contenido mucho más amplio (Alsina, 2003, pp. 639-646) aquí no vamos a extendernos, porque desde el punto de vista que nos interesa la cuestión es la siguiente: el método de clasificación que Buffon postula, impugna la división de los seres naturales en tres reinos equivalentes, agrupa a los seres vivos por un lado y a los minerales por otro, división que lleva en su seno la división entre las dos disciplinas posibles que se entrevén: la biología y la geología. Vuelve a aparecer la división establecida por Steno.

A pesar de que la Historia Natural no es el objeto de nuestro estudio hay algunas cuestiones metodológicas que Buffon explicita en el “Primer Discurso” que merecen nuestra atención. En las críticas metodológicas de Buffon a Linneo parecen revelarse influencias de la filosofía de John Locke (1632-1704) (Hankins, 1988, pp. 162-163). Las “esencias” de las cosas (y, en este caso de las plantas y animales) nos son totalmente desconocidas, arguye Buffon, y solamente a través de nuestros sentidos podemos obtener conocimiento de la naturaleza. Buffon utiliza estos elementos empiristas (o sensualistas) para refutar a Linneo, aunque es obvio que después no los aplica.

La posición casi nominalista de Buffon, cuando niega la existencia real de géneros y de especies manifiesta una clara influencia de Locke, pero su afirmación de la continuidad y de la gradación de los seres vivos, que no deben ser incluidos en grupos discontinuos, nos remite a Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).

Buffon reivindica un método “natural” a través de una metáfora inspirada en Locke y David Hume (1711-1776): la del hombre amnésico, colocado en medio del campo donde sucesivamente se presentan a su vista animales terrestres, aves, plantas y piedras (Buffon, 1844)<sup>1</sup>. Este hombre “natural”, sin ideas innatas, en el que incluso pueden apreciarse ecos rusionianos, reconstruye, naturalmente, el sistema que Buffon propone. Empieza por distinguir la materia animada de la inanimada (importante distinción desde el punto de vista de la futura delimitación disciplinar de la biología y la geología). Después distingue los reinos animal, vegetal y mineral; posteriormente entre Tierra, Aire y Agua, y finalmente, al ocuparse de los animales, reproduce las agrupaciones que Buffon propone.

Hay otro aspecto en el “Primer Discurso” (Buffon, 1844, pp. 5-27) de importancia metodológica, y, a veces poco considerado: las alusiones despreciativas de Buffon hacia los microscopistas. En primer lugar, al rechazar los métodos que considera incorrectos para el estudio de la Historia Natural, Buffon se refiere a dos tendencias opuestas, ambas condenables desde su punto de vista:

En el estudio de la historia natural hay dos obstáculos igualmente peligrosos; el primero no tener ningún método; el segundo querer relacionarlo todo con un sistema particular. (Buffon, 1844, pp 22-23)

En este párrafo, Buffon se refiere a dos naturalistas muy representativos (Alsina, 2003, pp. 639-646), René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) y Carlos Linneo (1707-1778). Y es precisamente Réaumur (“el que no tiene ningún método”, Buffon, 1844, pp. 22-23) uno de los principales representantes de la tradición microscopista y, paradójicamente, un autor que aplica los métodos inductivos que teóricamente defiende Buffon.

Más adelante, y aunque sea para rechazar el método de Linneo, hay una alusión despectiva al microscopio. Dice Buffon que un método de clasificación de las plantas por el número de estambres nos obliga a cargar siempre con un microscopio si salimos al campo a identificar plantas.

---

<sup>1</sup> Ver también la edición facsímil a cargo de Pietro Corsi y Thierry Hoquet nel website <www.buffon.cnrs.fr/>.

Aunque más adelante nos referiremos a la relación de Buffon con las diversas tradiciones experimentales de su época, pensamos que estas cuestiones merecen un comentario, pues aunque son ajenas a su pensamiento geológico, no lo son, en absoluto, a su metodología.

En el momento en que Buffon escribe el “Primer Discurso” de la Historia Natural pensamos que sus ideas sobre el método son algo confusas, y acusan influencias contradictorias. Buffon tiene claro que su proyecto de Historia Natural es diferente al desarrollado por Linneo, y también al desarrollado por los microscopistas, representados por Réaumur.

Buen conocedor de la tradición empirista británica, Buffon utiliza argumentos de Locke para criticar a Linneo. Pero además Buffon hace una lectura “sensualista” del empirismo, lo que le lleva a despreciar, o a no fiarse, de los instrumentos que deben actuar de intermediarios entre la sensación y los sentidos. Esto explica su poco aprecio al microscopio, y explica también que en sus experiencias sobre el enfriamiento de esferas de diversos materiales no utilice el termómetro.

En las ideas sobre el método es, pues, indiscutible que en Buffon hay influencias del empirismo británico. Estas influencias se manifiestan en algunos de los argumentos que utiliza para criticar a Linneo, en su versión “sensualista” del empirismo que le provoca desconfianza hacia los instrumentos (termómetro, microscopio), y en sus vagas, pero constantes, alusiones a la inducción y a la necesidad de razonar científicamente a partir de los hechos.

Sin embargo en el método de Buffon, sobre todo en el método real (no el invocado) que utilizará desde el principio, las influencias dominantes son racionalistas. Las influencias de René Descartes (1596-1650) y de Leibniz se encuentran en el núcleo central del método de Buffon, y estas influencias, que serán manifiestas en las *Épocas*, se perciben ya en la Historia Natural.

La Historia Natural que Buffon aspira a construir es, ante todo, un *sistema*. Las diversas partes de este sistema se relacionaran entre sí de modo lógico y deductivo, y se anclarán en la realidad a través de experiencias corroboratorias. En este sentido hay dos cuestiones muy significativas: la primera es que tanto en la *Teoría de la Tierra* (Buffon, 1844, pp. 29-52) como en las *Épocas* se establece un nexo fuerte, de

carácter deductivo, entre la astronomía y la geología (aunque no se la cita con este nombre); la segunda es que en ambas obras se expone primero el discurso teórico y posteriormente los hechos empíricos en que se fundamenta este discurso<sup>2</sup>.

Veamos a continuación como el método de Buffon se aplica a las cuestiones protogeológicas en la Historia y Teoría de la Tierra y en Las Épocas de la Naturaleza.

### 3 EL MÉTODO DE BUFFON EN LA HISTORIA Y TEORÍA DE LA TIERRA

La “Teoría de la Tierra” y las “Pruebas de la Teoría de la Tierra” (Buffon, 1844, pp. 121-343) constituyen las dos partes siguientes al “Primer Discurso” en la Historia Natural. Aquí no hay una declaración de principios metodológicos como en las *Épocas*, sino que se pasa directamente de un “Primer Discurso”, en el cual se trata básicamente de la clasificación de los seres vivos, a considerar el origen del sistema solar y de la Tierra.

Sin embargo, los pasajes en clave metodológica son abundantes. En primer lugar Buffon nos dice que la “historia general de la Tierra” debe preceder a la “historia de sus producciones particulares” (Buffon, 1844, pp. 65-66). Es decir, para Buffon no es intelectualmente legítimo estudiar las rocas, los minerales o los seres vivos sin antes haber estudiado la “historia general de la Tierra”, lo cual muestra el carácter de sistema de su Historia Natural, donde las distintas partes se apoyan unas en las otras por relaciones de carácter deductivo, y donde, además, las cuestiones protogeológicas aparecen como básicas.

Pero Buffon no se detiene aquí: nos dice que para considerar a la naturaleza “en grande” hay que elaborar una “teoría” que actúe como “primera ciencia” de la cual dependan “los efectos particulares” (Buffon, 1844, p. 66). Una vez más la reivindicación de una Historia Na-

---

<sup>2</sup> Las *Pruebas de la Teoría de la Tierra* van a continuación de la *Historia y Teoría de la Tierra*. En las *Épocas de la Naturaleza*, las *Notas Justificativas* las encontramos al final y no al principio de la obras.

tural “general y particular”, que lejos de ocuparse solamente de los pequeños detalles, se ocupe de la naturaleza en su conjunto.

Esta “primera ciencia” es la Teoría de la Tierra que Buffon propone, que actúa como un gran sistema de proposiciones generales, de las cuales se deducen proposiciones particulares. Esta relación entre la “primera ciencia” y los “efectos particulares” es deductiva y no inductiva en el método de Buffon, a pesar de que muchas veces nos diga lo contrario.

Pero “teoría” no significa para Buffon una vaga especulación. La “primera ciencia” tiene que ser rigurosa, y por eso hay que marcar diferencias con otros autores que habían elaborado supuestas “Teorías de la Tierra”. Buffon (1844, pp. 66-67) se desmarca y critica a autores como Thomas Burnett (1635-1715), Samuel Woodward (1790-1838) o William Whiston (1667-1752)<sup>3</sup>, los cuales forman parte de otra Tradición de Investigación, los fisicoteólogos, cuyo objetivo principal era demostrar la compatibilidad de los conocimientos científicos con la revelación bíblica sin recurrir a milagros o a hechos extraordinarios.

En la Historia y Teoría de la Tierra ya se perfila pues cuál será el método de Buffon: la construcción de un gran sistema teórico, conectado con la astronomía (ciencia de gran prestigio), cuyas partes se sustenten y relacionen entre sí en el orden lógico, y que se relacione de forma deductiva con las proposiciones particulares. Tal como veremos este método se mantiene en *Las Épocas de la Naturaleza*, pero en esta obra irrumpe también el método histórico, como consecuencia, o en relación, con el hecho de que la palabra “historia” vaya perdiendo su sentido antiguo (recopilación de información en torno a un hecho u objeto) y vaya tomando el sentido actual, como proceso genético-temporal.

#### **4 EL MÉTODO DE BUFFON EN LAS ÉPOCAS DE LA NATURALEZA**

---

<sup>3</sup> En este pasaje no los cita por su nombre, pero posteriormente, en las *Pruebas de la Teoría de la Tierra*, les dedica sendos artículos.

*Las Épocas de la Naturaleza* se publicó el año 1778. La obra consta de ocho capítulos, más unas notas justificativas. El primer capítulo (o introducción) lleva el nombre de “Primer Discurso”, y los siete restantes se dedican a cada una de las siete “épocas” que Buffon postula.

Los materiales expuestos en el “Primer Discurso” corresponden en su mayoría a una conferencia pronunciada por Buffon el 5 de Agosto de 1773 ante la Academia de Ciencias, Artes y Letras de Dijon. Parece ser que en la conferencia faltaban los comentarios sobre el Génesis que sí aparecen ya en el “Primer Discurso”.

El “Primer Discurso” es una presentación del proyecto intelectual de las *Épocas*. Es rico en apreciaciones de tipo metodológico. Sin embargo también pueden obtenerse datos de la metodología de Buffon en los otros capítulos.

A efectos de nuestra tesis vamos a abordar los siguientes temas:

1. Mostrar que Buffon utiliza una metodología hipotético deductiva que nos remonta a Steno, a Descartes y a Leibniz.
2. Mostrar que Buffon utiliza además una metodología histórica. Ésta aparece en embrión en la obra de Steno y es desconocida en Descartes.
3. Explicar porque razón Buffon nos dice varias veces que utiliza la metodología inductiva, cosa que en realidad no es cierta.

#### **4.1 El método deductivo en las *Épocas***

En el “Primer Discurso” traza un borrador de programa de trabajo: unos objetivos, unos medios y unos hechos básicos. Los objetivos de la obra se definen de la siguiente manera:

Penetrar en la noche de los tiempos.

Reconstruir, por el estudio de las cosas actuales, la existencia de las cosas antiguas, y llegar a la verdad histórica por la simple fuerza se los hechos. (Buffon, 1997, p. 5)

Los objetivos entran de lleno en el método histórico, que consideraremos más adelante. Por otra parte la afirmación “por la simple fuerza de los hechos” nos remite a otra cuestión interesante: ¿Por qué Buffon repite en varias ocasiones su intención de ceñirse a la inducción, cuando en realidad utiliza el método deductivo? Más adelante contestaremos a esto.

Los medios de los que va a valerse son:

1. Los hechos que nos pueden aportar datos del origen de la naturaleza.
2. Los “monumentos” como testimonio de las primeras edades.
3. Las tradiciones, que nos pueden dar alguna idea de los tiempos pasados (Buffon, 1997, p. 5).

Los “medios” 2 y 3 vuelven a referirse al método histórico. En cambio el punto 1 infiere directamente en el tema que estamos tratando. Los “hechos” a los que se refiere Buffon son los siguientes:

1. La Tierra se eleva en el Ecuador y es achatada por los polos, en las proporciones que exigen las leyes de la pesadez y de la fuerza centrífuga.
2. El globo terrestre posee un calor interior independiente del que le comunican los rayos del Sol.
3. Este calor que viene del Sol es muy pequeño en comparación al calor interno del globo terrestre, y no sería suficiente por sí solo para mantener a la naturaleza viva.
4. Los materiales que componen el globo terrestre son de la naturaleza del vidrio, y pueden ser reducidos a vidrio.
5. Se encuentran en toda la superficie de la Tierra, incluso en las montañas de 1500 a 2000 toesas de altura, una inmensa cantidad de conchas y otros objetos procedentes del mar (Buffon, 1997, pp. 5-6).

A partir de esta exposición de “hechos” Buffon simulará un proceso inductivo para inferir una serie de conclusiones. El porqué de esta simulación será estudiado más adelante. En realidad Buffon parte de unas premisas teóricas propias.

Comencemos con el “hecho” 1. Respecto a la elevación del Ecuador y el aplanamiento de los polos nos dice que:

[...] está matemáticamente demostrado y físicamente probado por la teoría de la gravitación y las experiencias del péndulo. (Buffon, 1997, p. 6)

Si Buffon trabajara realmente con el método inductivo no necesitaría “probar” los “hechos”. Estos serían evidentes por sí mismos, y constituirían la base última de las proposiciones. El que el supuesto “hecho” 1 tenga de demostrarse matemáticamente y probarse físicamente demuestra que es, en realidad, una hipótesis.

Examinemos las pruebas a las que se refiere Buffon. La polémica en torno a la forma de la Tierra era un capítulo más de las discusiones entre newtonianos y cartesianos. Según Descartes la fuerza de la gravitación era causada por un vórtice de materia que se arremolinaba alrededor de la Tierra, causando el aplanamiento en el Ecuador y el alargamiento en los polos. Por el contrario Isaac Newton (1642-1726/7) había afirmado que la rotación de la Tierra alrededor de su eje debía ocasionar el abultamiento del Ecuador y el alargamiento de los polos.

El año 1735, una expedición dirigida por Charles Marie de La Condamine (1701-1774) y patrocinada por el gobierno francés, partió hacia el Ecuador para medir su curvatura. El año siguiente, otra expedición, dirigida por Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) y Alexis Claude Clairaut (1713-1765), partió hacia el círculo polar ártico con igual finalidad. El resultado de ambas expediciones confirmó la hipótesis de Newton frente a la de Descartes.

El supuesto “hecho” 1 es, en realidad, una hipótesis. Es la hipótesis newtoniana, corroborada por los hechos, (éstos sí) que corresponden a las observaciones y mediciones de La Condamine, Maupertuis y Clairaut. Pero los hechos son el resultado de observaciones que vienen después de las hipótesis.

Los supuestos “hechos” aparecen estrechamente relacionados en sus razonamientos. Del “hecho” 1 obtiene la siguiente conclusión:

[...] la materia que forma la Tierra estaba en estado fluido en el momento de su formación, que es también el momento que empieza a girar sobre sí misma. (Buffon, 1997, p. 7)

El estado de fluidez se relaciona con el calor. Argumenta Buffon que en la naturaleza hay dos maneras de producir el estado fluido de los cuerpos: por disolución en agua o por licuefacción en el fuego. Descarta la primera en el tema que nos ocupa, pues:

[...] gran número de substancias que componen el globo terrestre no son solubles en agua, y además la cantidad de agua es mucho más pequeña que las materias áridas. (Buffon, 1997, pp. 7-8)

Concluye pues que para explicar el estado fluido hay que recurrir al calor. A partir de aquí entran en el razonamiento los hechos 2 y 3:

Esta consecuencia, que es ya plausible por sí misma, adquiere mayor probabilidad por el hecho 2 y se convierte en certidumbre por el hecho 3. El calor interior del globo, que subsiste aun actualmente, es mucho más grande que el que nos viene del Sol y nos demuestra que el antiguo fuego no está aún disipado del todo: la superficie de la Tierra es más fría que el interior de la misma. (Buffon, 1997, p. 8)

Pero cuando Buffon nos revela de forma inequívoca que está utilizando un método deductivo es cuando se ocupa del hecho 3. Cita una serie de evidencias para demostrar que el calor interno de la Tierra es diferente al calor comunicado por el Sol y mayor que él. Queda claro que el supuesto hecho 3 no es tal, sino que en realidad es una hipótesis. Si fuera un “hecho” no haría falta citar evidencias a su favor, porque como tal hecho sería evidente por sí mismo. Pero si uno de los supuestos hechos sobre los que se fundamenta el proceso inductivo es en realidad una hipótesis, el supuesto proceso inductivo no es tal.

Buffon es más o menos consciente de su contradicción, y trata de solucionarla escribiendo:

Podemos confirmar este hecho general [*vis*] (el 3), por un gran número de hechos particulares [*vis*]. (Buffon, 1997, p. 10)

El hecho 3 se convierte ahora en un “hecho general”, que se apoya en “hechos particulares”. Buffon sigue apegado a su simulación inductiva, pero en cualquier caso el hecho 3 ha dejado de ser un hecho. Caben dos posibilidades:

1. El supuesto hecho 3 es en realidad un primer nivel de generalización inductiva a partir de los “hechos particulares”, que son, sin más, los hechos.
2. El supuesto hecho 3 es en realidad una hipótesis, que se contrasta y corrobora con los “hechos particulares”.

Pero si Buffon siguiera realmente el procedimiento inductivo debería empezar su razonamiento en los “hechos particulares” y, a partir de los mismos, inducir leyes y regularidades. No lo hace así: se anuncia el supuesto “hecho” 3 que es, en realidad, una hipótesis, y los llamados “hechos particulares” lo que hacen es corroborar esta hipótesis.

Otra buena muestra de cómo Buffon construye su discurso científico la tenemos cuando desarrolla su hipótesis sobre el origen del sistema solar:

[...] todos los planetas orbitan alrededor del Sol en el mismo sentido y casi en el mismo plano. Parecen haber sido puestos en movimiento por un impulso común y en el mismo momento. Sus movimientos orbitales y de rotación son contemporáneos al igual que su estado de fusión o licuefacción por el fuego, y estos movimientos fueron necesariamente producidos por el impulso que los produjo. (Buffon, 1997, p. 176)

El párrafo contiene cuatro proposiciones fácilmente delimitables:

1. Todos los planetas orbitan alrededor del Sol en el mismo sentido y casi en el mismo plano.
2. Parecen haber sido puestos en movimiento por un impulso común y en el mismo momento.
3. Sus movimientos orbital y de rotación son contemporáneos, al igual que su estado de fusión.
4. Estos movimientos fueron necesariamente precedidos por el impulso que los produjo.

Teóricamente todo el razonamiento pivota sobre la proporción 1, que es la única que describe un hecho<sup>4</sup>. Fiel a su razonamiento formalmente inductivo Buffon quiere hacernos creer que las proposiciones 2, 3 y 4 derivan de la 1. En realidad sucede al revés, el modelo teórico genera una hipótesis que se confirma en el hecho 1, que responde a observaciones que, aunque no realizadas por el propio autor, forman parte de la cultura científica de la época.

Otro interesante ejemplo del método buffoniano lo tenemos en sus razonamientos para explicar cuál fue la causa de la separación de la materia del Sol que dio origen a los planetas. La hipótesis básica es que el choque de un cometa con el Sol primigenio fue el aconteci-

---

<sup>4</sup> La descripción es correcta según los conocimientos sobre planetas y satélites que se tenían en el momento en que Buffon escribe. Descubrimientos posteriores mostraron que el planeta Plutón, así como numerosos satélites Júpiter, Saturno y Neptuno se desvían mucho del plano de la eclíptica correspondiente (Roger *in* Buffon, 1988, nota 4, p. 278; Beltran *in* Buffon, 1997, nota 1, p. 174).

miento catastrófico que provocó la separación de materia que dio origen a todo el Sistema Solar.

El razonamiento se inicia dando por supuesto o por demostrado que los planetas han pasado por una etapa líquida. Arguye que no conocemos otra fuente de calor que el Sol, por tanto, este origen líquido de los planetas puede explicarse mediante dos hipótesis alternativas:

1. Los planetas han nacido y surgido del Sol.
2. Los planetas han estado muy cerca del Sol y se han licuado con el calor que procede del mismo.

Enseguida acumula evidencias para rechazar la hipótesis 2. Así nos dice que:

[...] hace falta tiempo para que el fuego, por más violento que sea, penetre las materias resistentes que le están expuestas y mucho tiempo para licuarla. (Buffon, 1997, p. 42)

Buffon remite a los suplementos de su *Historia Natural* y nos dice que para calentar un cuerpo hasta el grado de fusión hace falta al menos la quinceava parte del tiempo necesario para enfriarla, y que considerando los grandes volúmenes de la Tierra y los demás planetas deberían haber estado junto al Sol unos miles de años. Ahora bien, nunca se ha visto ningún planeta ni cometa que permanezca estacionario junto al Sol.

Así pues, si la hipótesis 2 no resulta plausible a la luz de las evidencias, debemos remitirnos a la 1 y suponer que la materia de los planetas formó parte del Sol, y que fue separada de él por un único e idéntico impulso. A partir de aquí empieza a ocuparse de los cometas.

[...] los cometas que más se aproximan al Sol no presentan más que el primer grado de los grandes efectos del calor. Parecen precedidos de un vapor inflamado cuando se acercan, y seguidos de un vapor semejante cuando se alejan de este astro. De este modo, una parte de la materia superficial del cometa se extiende a su alrededor y se nos presenta en forma de vapores luminosos, que se encuentran en estado de expansión y volatilidad por el fuego del Sol<sup>5</sup>. (Buffon, 1997, pp. 43-44)

---

<sup>5</sup> Buffon recoge aquí la explicación de Newton, ampliamente aceptada en su tiempo. Frente a Descartes, que atribuía la estela de los cometas a una especie de refracción,

Buffon establece una distinción entre la materia de los planetas, que procede del Sol, y la de los cometas. Nos dice de estos últimos que su núcleo no parece estar penetrado por el fuego, pues no es luminoso por sí mismo. Vincula estas diferencias con el origen:

Los planetas recibieron su movimiento por un único e idéntico impulso, puesto que orbitan todos en el mismo sentido, y casi en el mismo plano. Por el contrario, los cometas, que circulan como los planetas alrededor del Sol, pero en sentidos y planos diferentes, parecen haber sido puestos en movimiento por impulsos distintos. (Buffon, 1997, p. 44)

Aventura la posibilidad de que el origen de los cometas sea:

[...] la explosión de una estrella fija o de un Sol vecino al nuestro cuyas partes dispersadas, al no tener ya un centro o foco común, se habrían visto forzadas a obedecer la fuerza de atracción de nuestro Sol. (Buffon, 1997, p. 45)

Buffon insiste en que la posibilidad de que la materia de los planetas fuera proyectada fuera del Sol por el choque de un cometa es una posibilidad hipotética. Es consciente de que esta hipótesis, como cualquier otra, encierra la posibilidad de error. Aquí se manifiesta de forma nítida, la influencia cartesiana, no solamente en el método deductivo, sino en el desarrollo de una ontología hipotética frente al dogmatismo. La cautela de Buffon no procede de la inducción a partir de “hechos”, sino de la explicación de estos hechos a partir de una hipótesis, que a su vez se deducen de los postulados de su propia filosofía de la naturaleza.

Pero su propuesta, aunque hipotética, viene avalada por las siguientes consideraciones:

1. Excepto los cometas, no hay en la naturaleza más cuerpo en movimiento que pueda, o haya podido, comunicar tan gran movimiento a tan grandes masas.
2. A veces los cometas se acercan tanto al Sol que es prácticamente inevitable que algunos caigan oblicuamente en él.

Por tanto, aunque no exista una experiencia directa, es práctica-

---

Newton la explicaba por el escape de vapores que el Sol provocaba en el cometa (Beltran *in* Buffon, 1997, nota 2, p. 176).

mente la única explicación congruente con los conocimientos existentes al respecto. Una vez más vemos que el discurso que construye Buffon es a partir de unas premisas y su posterior contrastación.

Más adelante vuelve a insistir sobre el carácter hipotético de su afirmación:

No se trata, pues, de que yo haya afirmado ni siquiera pretendido que efectivamente nuestra Tierra y los planetas se hayan formado necesaria y realmente por el choque de un cometa, que proyectó fuera del Sol la seiscientas cincuentava parte de su masa. Sino que lo que he querido hacer entender, y lo que mantengo aun como hipótesis muy probable es que un cometa que en su perihelio se acercó suficientemente al Sol para rozar y surcar su superficie, podría producir semejantes efecto. (Buffon, 1997, p. 53)

Es un lenguaje que nos recuerda a la fábula del mundo cartesiana, la que podemos apreciar en el *Tratado del Mundo* o en *Los Principios de la Filosofía*.

Por otra parte Buffon supone que los cuerpos que orbitan alrededor del Sol provocan una especie de *rozamiento interior* en todas las partes de su masa, lo que causa su licuefacción, y que se mantenga ardiente y luminosa. Cita los movimientos irregulares de las manchas solares como una prueba del estado de licuefacción de la materia del Sol:

Cada cometa y cada planeta forman una rueda cuyos radios son los de la fuerza de atracción. El cometa o planeta es la llanta móvil, y cada uno contribuye con todo su peso y con toda su velocidad al abrasamiento de este foco general, cuyo fuego durará en consecuencia tanto tiempo como el movimientos y la presión de los enormes cuerpos que lo producen. (Buffon, 1997, p.53)

Al margen del método, este pasaje muestra hasta qué punto las ideas de Buffon son deudoras de la física cartesiana:

1. Para que el mecanismo de *rozamiento interior* sea posible es necesario que entre el cuerpo que gira y el Sol exista algún tipo de materia. En el vacío el fenómeno sería imposible. Esto nos lleva al *plenum* cartesiano.
2. La equiparación del fuego (en este caso del Sol) con materia líquida es típicamente cartesiano (*Tratado del Mundo*, II, 7 y 8).

Volviendo a las cuestiones metodológicas, el teorema que Buffon

desarrolla, formalizado, sería el siguiente: El calor producido por los cuerpos que giran en torno a un foco sería proporcional al número, velocidad y masa de los cuerpos que orbitan alrededor del mencionado foco. De aquí se deducen dos importantes corolarios:

1. Las estrellas, siendo fijas y luminosas como el Sol, debieron calentarse, licuarse y arder por la misma causa, es decir, por la presión activa de cuerpos opacos, sólidos y oscuros que orbitan a su alrededor.
2. Os cometas que giraban en torno al Sol antes que éste emitiera la materia que dio lugar a los planetas, pudieron ser suficientes para encender el fuego del Sol.

Nos encontramos, especialmente en el corolario 1, con la típica predicción propia del método hipotético-deductivo, predicción que será confirmada, o no, por posteriores descubrimientos:

[...] la analogía nos indica que las estrellas, siendo fijas y luminosas como el Sol, debieron calentarse, licuarse y arder por la misma causa, es decir, por la presión activa de los cuerpos opacos, sólidos y oscuros, que orbitan a su alrededor. (Buffon, 1997, p. 48)

Así pues parece evidente que Buffon utiliza el método deductivo. Ello es congruente con el hecho de que se sitúa en una tradición de investigación que tiene su origen en Steno, pero que es deudora del pensamiento cartesiano. Si el mecanicismo cartesiano es su ontología básica, el método deductivo, o hipotético deductivo es su metodología básica. Pero las tradiciones de investigación son marcos dinámicos de pensamiento, en los cuales se conservan unas características que las identifican, pero en las cuales se generan nuevos elementos intelectuales.

De la misma manera que se van a generar elementos ontológicos nuevos, específicamente geológicos, como estrato, sedimento etc., también en el terreno metodológico aparecerán novedades. En las *Épocas* verá a luz algo que ya se insinuaba en Steno la idea de que la Tierra tiene una historia, y, en consecuencia, el método histórico.

## 4.2 El método histórico en las *Épocas*

Los nuevos conceptos acuñados por Steno en el *Canis Carcharias* y en el *Prodromus*, y, sobre todo, algunos de los corolarios que se derivaban de los mismos, como el Principio de Superposición de los

Estratos, insinuaban ya la idea de la Tierra tiene una historia. Sin embargo la fidelidad de Steno a la cronología corta, de origen bíblico, que otorgaba a la Tierra solamente unos 6000 años de antigüedad, frustró, en parte, las grandes posibilidades de sus innovaciones conceptuales.

En la *Historia y Teoría de la Tierra de Buffon* se formula un modelo cosmológico del origen del Sistema Solar que puede derivar fácilmente hacia una concepción histórica. La Tierra (y los otros planetas) se han formado a partir de materia en fusión procedente del Sol. El enfriamiento y solidificación proporciona un proceso físico director de la historia de la Tierra, pero este proceso intelectual no se dará hasta más tarde, cuando Buffon concibe y escribe las *Épocas* (Alsina, 2009, pp. 5-32). En la *Historia y Teoría de la Tierra* Buffon supone que el enfriamiento da lugar a un estado estacionario, con un tiempo cíclico o eternalista, en que los cambios de lugar de los océanos van a determinar la orogenia y el origen del relieve, pero no de forma histórica, sino cíclica (Buffon, 1844, pp. 46-47).

En el *Primer Discurso*, al exponernos su programa de trabajo, Buffon ya afirma de manera directa, la naturaleza histórica del mismo. Recordemos sus objetivos:

- Penetrar en la noche de los tiempos.
- Reconstruir, por el estudio de las cosas actuales, la existencia de las cosas antiguas, y llegar a la verdad histórica, por la única fuerza de los hechos (Buffon, 1997, p. 5).

No puede hacerse una definición más nítida de método histórico. Pero por si quedara alguna duda se especifica que este método histórico que va a aplicarse al estudio de la Tierra, es el mismo que se aplica a la historia humana:

Al igual que en la historia civil se consultan los títulos, se buscan las medallas, se descifran las inscripciones antiguas, para determinar las épocas de las revoluciones humanas y comprobar las fechas de los acontecimientos del mundo de espíritu, también en la historia natural es preciso hojear los archivos del mundo, sacar de las entrañas de la Tierra los viejos monumentos, recoger sus restos y reunir en un cuerpo de pruebas todos los indicios de los cambios físicos que puedan hacernos remontar a las diferentes edades de la naturaleza. (Buffon, 1997, pp. 1-2)

La misma palabra “historia” está sufriendo una mutación conceptual. La palabra deriva del término griego *istorié*, original de los primeros filósofos jonios, y que venía a significar algo así como investigación empírica (Jaeger, 1952, p. 177). Durante siglos “Historia Natural” era la descripción más exacta posible de la naturaleza, completada por la “Filosofía Natural”, que era la interpretación de estas descripciones. De hecho, cuando Buffon publica su *Historia Natural* todavía utiliza el término en este sentido. Pero en este párrafo, al hermanar la historia natural con la civil es indudable que aparece ya este significado dinámico. El nuevo concepto no niega el anterior, solamente lo completa: si la historia natural es la descripción de la naturaleza, pero esta naturaleza lejos de ser estática es dinámica, la historia natural debe hacerse, forzosamente, “histórica”.

La única diferencia entre historia natural y civil está en los espacios de tiempo, y en los lugares en los que se desarrolla:

Así pues, la historia civil, limitada por una parte por las tinieblas de un tiempo bastante cercano al nuestro, no se extiende por otra más que a las pequeñas porciones de tierra que han ocupado sucesivamente los pueblos cuidadosos de su memoria. Mientras que la historia natural abraza por igual todos los espacios, todos los tiempos, y no tiene otros límites que los del Universo. Siendo la naturaleza contemporánea de la materia, del espacio y del tiempo, su historia es la de todas las sustancias, la de todos los lugares, de todas las edades. (Buffon, 1997, p. 2)

Buffon nos deja muy claro que la diferencia entre ambas “historias” afecta al objeto de estudio, pero no al método, y éste se resume en “reconstruir las cosas actuales por el estudio de las cosas antiguas”.

## **5 EL MÉTODO COMO PROBLEMA CONCEPTUAL**

El método utilizado en el trabajo científico responde a una determinada imagen o modelo de lo que debe ser la ciencia. Cada época o periodo intelectual tiene un modelo, más o menos explícito de lo que debe ser la ciencia. La correspondencia, o no, entre el modelo de un autor determinado y el modelo más o menos admitido de la época en que vive puede constituir un importante problema conceptual, que puede intervenir de manera notable en la “selección intelectual” de las teorías del autor en cuestión.

Por otra parte, es preciso distinguir entre el método y modelo de ciencia que un autor dice asumir en sus escritos teórico- metodológicos, y el método real (y por tanto el modelo de ciencia real) que practica.

Laudan, al definir los problemas conceptuales, los agrupa en internos y externos (Laudan, 1986, pp. 87-98). A su vez los problemas conceptuales externos pueden ser de tres tipos:

1. Intracientíficos, cuando una teoría o una Tradición de Investigación entra en contradicción con otras teorías científicas comúnmente aceptadas.
2. Dificultades normativas, cuando una teoría o Tradición de Investigación utiliza una metodología que entra en contradicción con los estándares comúnmente admitidos de cómo hay que “hacer ciencia”.
3. Dificultades relativas a la visión del mundo, cuando se da incompatibilidad con un cuerpo de creencias aceptadas ampliamente en el seno de la cultura en la cual se desarrolla.

Nuestra tesis es que la metodología de Buffon entra en contradicción con las ideas imperantes en su medio intelectual sobre lo que era “buena ciencia”, pero además estas dificultades normativas (del tipo 2) revelan en su trasfondo dificultades relativas a la visión del mundo (del tipo 3).

El propio Laudan es muy explícito cuando escribe:

En el siglo XVII la imagen dominante era matemática y demostrativa, una imagen que se constituyó canónica en el Discurso del Método de Descartes. En el siglo XVIII y comienzos del XIX, por el contrario, la mayoría de los filósofos de la naturaleza estaban convencidos de que los métodos de la ciencia debían ser inductivos y experimentales. (Laudan, 1986, p. 91)

Hemos visto cómo la metodología de Buffon se va definiendo y decantando a lo largo de su obra. En el “Primer Discurso” de su Historia Natural se advierte una sincera preocupación por dotarse de un método, pero sus afirmaciones al respecto pueden parecer algo contradictorias. Por una parte utiliza argumentos empiristas y nominalistas, que parecen parafraseados de Locke o de Hume para rechazar el método de Linneo. Por otra parte se advierte su proyecto de la construcción de un gran sistema intelectual, en el que se concatenen

causas y efectos, y en que las diversas partes se apoyen unas en las otras.

En las *Épocas* las influencias de Locke son mucho menos evidentes y nos encontramos con un método racionalista, hipotético deductivo, que va de las grandes ideas y principios a las proposiciones científicas concretas. La metodología de Buffon parece decantarse cada vez más hacia un racionalismo deductivo, con tendencia a la construcción de grandes sistemas explicativos, derivando proposiciones científicas de afirmaciones metafísicas, en la línea de influencia de Descartes o de Leibniz.

Quizá la mejor manera de ilustrar las dificultades normativas del trabajo de Buffon con su medio intelectual es comprobar cómo su pensamiento científico permanece ajeno, cuando no en contradicción, con las tradiciones experimentales que se desarrollan a lo largo del siglo XVIII. Entendemos por tradición experimental un conjunto de procedimientos y prácticas empíricas, relacionadas con un problema empírico o con un instrumento determinado, no forzosamente ligadas a una Tradición de Investigación. En nuestro caso las investigaciones sobre “fluidos sutiles”, y la química de los gases, por ser las más próximas a los temas de los que se ocupa Buffon.

## 5.1 Los “fluidos sutiles”

La investigación sobre “fluidos sutiles” fue un importante campo de experimentación de la naciente física experimental a finales del siglo XVII y durante el XVIII. El concepto de fluido sutil fue un paso necesario para el proceso posterior de cuantificación (Hankins, 1988, p. 54). Un fluido sutil o imponderable era una substancia que poseía propiedades físicas, pero no transmitía ninguna masa. Los mejores ejemplos de fluidos sutiles eran la electricidad y el calor.

Las investigaciones sobre electricidad despertaron gran interés en el siglo XVIII. Se desarrolla una tradición experimental en torno a los fenómenos eléctricos, que da lugar a descubrimientos concretos, como la botella de Leiden, o el pararrayos de Franklin. En las *Épocas* hay una alusión a la electricidad<sup>6</sup>, de la que dice que convierte el calor

---

<sup>6</sup> Concretamente en la p. 9.

interno de la Tierra en destellos luminosos. Pero la electricidad no juega ningún papel importante en los procesos que Buffon describe<sup>7</sup>.

Pero es en el tema del calor y la temperatura donde más se pone de manifiesto cómo el desarrollo del método de Buffon le aleja de las principales tradiciones experimentales de su época. Resulta una curiosa paradoja que el calor y el enfriamiento sean por una parte elementos fundamentales en el método de Buffon para introducir una cronología geológica, y que por otra parte ignore, o al menos no mencione, importantes hechos experimentales en torno a esta cuestión.

Empecemos considerando la cuestión del termómetro. Parece ser que el primer termómetro se construyó en 1592 por Galileo Galilei (1564-1642), utilizaba gas y no tenía escala fija. Pronto fue substituido por el de líquido expansivo, y en 1641 el gran duque Fernando II de Toscana (el mecenas de Steno) había construido un termómetro de líquido expansivo, con el extremo cerrado, al que no afectaban los cambios de presión barométrica ni la evaporación del líquido del tubo (Hankins, 1988, p. 78)

En 1742 Anders Celsius (1701-1744) creó la primera escala centígrada, tomando las temperaturas de congelación y ebullición del agua como puntos fijos, y dividiendo las temperaturas intermedias en 100 grados. Por su parte, Joseph Black (1728-1799) fue el primero en señalar que el termómetro no mide el calor, sino la temperatura. Partiendo de la base de que el calor era un fluido, Black sostuvo que el termómetro medía la densidad del fluido calórico en el objeto, no la cantidad total. De esta manera un recipiente de 5 litros de agua contenía cinco veces el calor de un recipiente de 1 litro de agua a la misma temperatura: el termómetro medía la densidad del fluido calórico.

En la misma línea de pensamiento Herman Boerhaave (1668-1738), en sus *Elementos de química*, publicados en 1732, desarrolló la teoría del fluido calórico. La cantidad de calor en cualquier objeto era proporcional a su temperatura y a su volumen, siendo el objeto un

---

<sup>7</sup> Roger anota que Buffon mantuvo contactos con Franklin, y que siguiendo a este, afirmó la presencia de electricidad en la atmosfera. Creía que la electricidad, al igual que el calor, era un elemento material (Beltran *in* Buffon, 1997, p. 149, nota 13). Es posible que sea así, pero Buffon, en las *Épocas*, no da ninguna explicación teórica sobre la naturaleza de la electricidad, ni tampoco del calor.

mero recipiente del calor. Boerhaave fundamentó su tesis en los experimentos de Daniel Gabriel Fahrenheit<sup>8</sup> (1686-1736), efectuados con agua y mercurio.

Por su parte George Martine (1702-1741) efectuó un experimento en 1739, calentando volúmenes iguales de agua y de mercurio, y comprobando que la temperatura del mercurio subía dos veces más aprisa que la del agua. A partir de estos resultados Black concluyó que la cantidad de calor en un objeto no era proporcional al volumen ni a la masa, sino que cada substancia tenía una afinidad diferente para el calor. En 1760 Black atribuyó una “capacidad” calorífica distinta para cada substancia, y concluyó que la cantidad de calor en cualquier objeto era proporcional a la temperatura, a la masa y a la “capacidad” calorífica del objeto.

¿Qué relación podemos encontrar entre esta tradición experimental y el desarrollo de las ideas de Buffon? A nuestro entender muy poco, y esta falta de relación es debida a problemas de método. En el tomo I de los *Suplementos a la Historia Natural*, publicado en 1774, Buffon expone sus experimentos realizados para determinar la edad de la Tierra. En las *Épocas* alude también a estos experimentos (Buffon, 1997, p. 167).

En sus experimentos Buffon mide el tiempo de enfriamiento de bolas de hierro de 1 a 5 pulgadas de diámetro. Primero comprueba que el enfriamiento de las bolas es proporcionalmente más lento cuanto mayor es el diámetro. A continuación extrapola sus resultados para una bola de hierro del tamaño de la Tierra. Después, considerando que la Tierra no es un globo de hierro, repite la experiencia para bolas de distintos materiales.

Lo más sorprendente de estas experiencias es que no se utilizó el termómetro. Buffon tomó dos puntos de referencia en el proceso de enfriamiento: la “incandescencia” y “el momento en que podía tocarse la bola sin quemarse”. Esta cuestión merece varios comentarios.

Revela, en primer lugar la escasa influencia en el pensamiento de Buffon de toda la tradición experimental relativa al calor y a la temperatura. Buffon no parte de hechos experimentales, ni observa regula-

---

<sup>8</sup> Que fue también el creador de la escala termométrica que lleva su nombre.

ridades, ni emite hipótesis circunscritas a problemas empíricos concretos. Buffon construye un gran sistema racional deductivo. Su teoría de la tierra primero, y su teoría del enfriamiento después se obtienen deductivamente a partir de sus teorías astronómicas.

Los “hechos”, las pruebas, vienen después, no antes, de las teorías<sup>9</sup>. Las pruebas empíricas de Buffon acostumbran a ser observaciones realizadas por otros. Pero incluso cuando realiza experimentos, como el del enfriamiento de las esferas, los hace “a su manera”, ignorando (¿despreciando?) toda la tradición experimental existente en torno al problema, y que alguien tan culto e informado como Buffon es imposible que no conociera.

Por otra parte en ningún momento Buffon establece una diferenciación teórica entre calor y temperatura. Tampoco emite ninguna hipótesis sobre la naturaleza del calor: ni se adhiere a la teoría del fluido calórico ni presenta otra alternativa. Parece que a Buffon le interesa el enfriamiento de la Tierra únicamente desde el punto de vista geológico, como motor de las transformaciones, y cronológico, como una manera de medir el tiempo, pero no tenga ningún interés en la física del calor.

Finalmente unos comentarios a la “medida” que utiliza Buffon del enfriamiento consistente en “poder tocar sin quemarse”. No la usa solamente en sus experimentos sobre enfriamiento de bolas de distintos materiales, sino que la expresión aparece diversas veces en las *Épocas* (Buffon, 1997, p. 56, p.73 y p. 165). Vemos aquí una influencia del pensamiento de Locke y de Hume, donde los aspectos “sensualistas” predominan sobre los empiristas. Buffon no se fía de los instrumentos de medida, como el termómetro (tampoco de fía del microscopio, tal como veremos más adelante), y prefiere utilizar la “impresión” directa sobre sus sentidos.

Nos llama la atención el “poder tocar sin quemarse” por lo subjetivo, pero los otros elementos que Buffon toma como indicios de más o menos enfriamiento son también accesibles por los sentidos sin necesidad de aparatos de medida: la incandescencia de los materia-

---

<sup>9</sup> En la *Historia Natural* se expone primero la *Historia y Teoría de la Tierra*, y a continuación las *Pruebas de la Teoría de la Tierra*. En las *Épocas* encontramos las *Notas justificativas a los hechos expuestos* al final de la obra.

les y el provocar, o no, la ebullición del agua. El observador puede ver directamente, sin necesidad de aparatos de medida, cuándo un objeto está incandescente. También puede ver directamente cuándo el calor provoca la ebullición del agua. Finalmente pueden “sentir” directamente cuándo un objeto “se puede tocar sin quemarse”. El racionalista Buffon convive con el “sensualista”. Pero todo ello aleja más y más el método de Buffon de las tradiciones experimentales de su época y, en general, de los estándares comúnmente admitidos de “buena ciencia”.

## 5.2 La química de los gases

Una constatación crucial en la historia de la química fue que el “aire” no era un elemento simple, sino un estado físico que podían asumir muchas sustancias químicas, y que el aire atmosférico era una mezcla de varios componentes químicos distintos, en el mismo estado vaporoso. Las propias palabras “vaporoso” o “gaseoso” se inventaron a lo largo del propio siglo XVIII. El reconocimiento del estado gaseoso hizo que se comprendiera por vez primera que la capacidad de una sustancia de llenar por completo su recipiente no significaba que fuera un elemento químico simple (Hankins, 1988, p. 89).

La química de los gases generó un conjunto de conceptos y técnicas experimentales que nos conducen, a finales del siglo XVIII, a la obra de Lavoisier y al establecimiento de la química moderna. Algunos autores se han referido al “retraso” de la revolución científica en la química (Butterfield, 1982, p. 193), pero pensamos que el término no es adecuado. Si bien es cierto que la obra de Lavoisier es una auténtica revolución en la química<sup>10</sup>, a lo largo del siglo XVIII se desarrolla una importante Tradición de Investigación en química: la teoría del *flogisto* o *flogistón*, de la mano de Georg Ernst Stahl (1659-1734), Joseph Priestley (1733-1804) y Henry Cavendish (1731-1810) (Estany, 1990; Hankins, 1988; Brock, 1992), ligada a la química de los gases.

Pero aquí no pretendemos desarrollar una historia de la química, ni siquiera ocuparnos de las ideas químicas de Buffon (Alsina, 2012, pp. 139- 159), sino ver hasta qué punto las ideas desarrolladas en las

---

<sup>10</sup> Que culmina en la publicación del *Tratado Elemental de Química* en 1789.

*Épocas* permaneces ajenas a la tradición experimental de la química de los gases, para demostrar nuestra tesis de que el método de Buffon, racionalista, deductivo y “constructor de sistemas”, se aleja de los estándares comunes de su época de lo que se considera “buena ciencia”.

Podemos situar el origen de la química de los gases como tradición experimental en el año 1727, cuando Stephen Hale (1677-1761) publicó su obra *Vegetable statics*, donde revelaba que se podían liberar cantidades ingentes de “aire” por destilación destructiva de muchos sólidos y líquidos. El hecho de que el “aire” pudiera ser fijado en estado inelástico en la materia sólida fue un descubrimiento sorprendente que atrajo mucho la atención hacia el estudio del mismo.

Joseph Black continuó el trabajo de Hale, y de hecho fue el primero en identificar un “aire” distinto al atmosférico. En 1754 presentó su tesis doctoral en la Universidad de Edimburgo con el título *De los humores ácidos derivados de los alimentos y de la magnesia alba*. La finalidad de la investigación de Black era médica: encontrar un medicamento que disolviera las piedras de riñón<sup>11</sup>.

El medicamento preferido para combatir esta dolencia era el agua de cal, o hidróxido cálcico, que se obtenía a partir de la caliza (carbonato cálcico), pero había desacuerdos sobre el método más adecuado para su producción. En lugar de participar en el debate, Black optó por estudiar otro álcali suave, la magnesia alba o carbonato de magnesio.

Al principio Black no recogía el aire liberado por sus experimentos (que era dióxido de carbono), pero cuando la hizo se dio cuenta de las propiedades que tenía respecto al “aire” normal: tenía un olor característico, apagaba las llamas, era más denso que el corriente y hacía que el agua de cal se tornara lechosa. Además comprobó que la fermentación alcohólica y la combustión de carbón vegetal producían el mismo tipo de “aire”, al que llamó “aire fijo”.

En 1766 Cavendish aisló otro tipo de “aire”, el “aire inflamable” (hidrógeno). En 1772 Joseph Priestley publicó los resultados de sus

---

<sup>11</sup> En aquellos momentos la química no estaba aún delimitada como campo disciplinar propio, y muchos de sus cultivadores eran médicos.

experiencias con “aire fijo”<sup>12</sup>, donde explicaba el modo de fabricar agua de Seltz, que hasta el momento se encontraba únicamente en manantiales naturales. El mismo año publicó más resultados<sup>13</sup>, en los que identificaba “aire nitroso” (óxido nítrico), “aire ácido marino” (ácido clorhídrico), “aire alcalino” (amoníaco), “aire ácido vitriólico” (dióxido de azufre), “aire nitroso flogisticado” (óxido nitroso) y “aire deflogisticado” (oxígeno).

La nomenclatura de Priestley para sus “aires” muestra que ya trabaja en el seno de una teoría concreta, la del “flogisto” o “flogistón”, que suponía la existencia de esta substancia que los cuerpos perdían al quemarse. De forma simultánea al trabajo de Priestley, Lavoisier trabajaba en su teoría de la combustión, opuesta a la del flogisto, que iba a sentar las bases de la química moderna.

Otro aspecto importante fue la interpretación física de la evaporación. La creencia más generalizada era que los líquidos se evaporaban al disolverse en el aire. Pero en 1756 William Cullen (1710-1790) (que había sido profesor de Black) publicó sus experimentos<sup>14</sup> donde se mostraba que la evaporación producía descenso de la temperatura, y que era posible evaporar líquidos en el vacío. El fenómeno del enfriamiento asociado a la evaporación (pero restringido al caso del agua) había sido ya descrito, pero no explicado, por Jean-Jacques d’Ortus de Mairain (1678-1771) en 1749<sup>15</sup>.

Quien más claramente reconoció las implicaciones de todas estas experiencias fue Anne Robert Jaques Turgot, Baron de l’Aulne, (1727-1781) funcionario de la *generalite* de Limoges y posteriormente director general de finanzas de toda Francia. Realizó una contribución anónima a la *Encyclopédie* con un título insólito, “Expansibilité”, palabra que no existía en lengua francesa. Con este término Turgot denominaba una propiedad del aire, la capacidad de llenar por completo cualquier recipiente, que era extensible a toda substancia en estado vaporoso. Esta “vaporización” (otro término inventado por Turgot)

---

<sup>12</sup> Instrucciones para impregnar el agua con aire fijo.

<sup>13</sup> Observaciones sobre diferentes tipos de aire.

<sup>14</sup> Ensayo producido por la evaporación de líquidos y sobre otros medios de producir frío.

<sup>15</sup> Disertación sobre el hielo.

podía afectar a cualquier substancia si la temperatura se elevaba lo suficiente.

Aunque todo ello no iba a sistematizarse hasta la obra de Lavoisier, es indudable que en el medio intelectual del siglo XVIII circulaban ya una serie de ideas, de las cuales las más importantes eran que el aire no era un elemento, sino la mezcla de varios tipos de “aires”, y que la evaporación estaba asociada a cambios de temperatura.

¿Hasta qué punto estas ideas están presentes en la obra de Buffon? En diversas ocasiones se refiere al aire y al agua como *elementos* (Buffon, 1997, p. 72). Por otra parte cuando describe la producción de agua líquida a partir del vapor establece una relación de causa-efecto según la cual, cuando la temperatura estuvo lo suficientemente baja el agua-vapor se convirtió en agua-líquido, y que las primeras masas de agua líquida que cayeron sobre la tierra entraban en ebullición y volvían a evaporarse por la alta temperatura de ésta (Buffon, 1997, p. 93).

Cuando Buffon explica la aparición del agua líquida (Buffon, 1997, p. 93) no dice que la caída del agua y su posterior evaporación hubiera acelerado el proceso de enfriamiento, aunque posteriormente admite (Buffon, 1997, pp. 165-166) que el ritmo de enfriamiento del globo ha sido diferente en los polos que en el Ecuador, pero lo atribuye tanto al mayor diámetro de la Tierra como del efecto del calor solar, que en éste es considerable y en el polo casi nulo.

La recepción de las aguas solo se tiene en cuenta como causa secundaria del enfriamiento. Admite dos posibilidades: que los polos recibieran las aguas antes que el Ecuador, y esto contribuyó a que se enfriaran antes, o que las que caían sobre el Ecuador estuvieran más calientes por la acción del sol. En ningún momento dice, de forma explícita, que sea la evaporación del agua lo que produce en enfriamiento.

El desarrollo de su sistema aleja a Buffon de importantes tradiciones experimentales de su época, cuyo contenido desprecia o ignora. Esto no solamente afecta a los contenidos<sup>16</sup>, sino que le aleja de los

---

<sup>16</sup> Lo dicho no se cumple para la astronomía. Buffon recoge en su sistema diversos descubrimientos astronómicos, así como el resultado de diversas expediciones científicas realizadas para medir la curvatura de la Tierra.

estándares admitidos como “buena ciencia”, en una época en que se admira la elaboración de “historias naturales” a partir de observaciones, y donde se valora más el estudio de problemas concretos que la elaboración de sistemas generales.

## **6 CONCLUSIÓN: DIFICULTADES NORMATIVAS Y DE “VISIÓN DEL MUNDO”**

La Tradición de Investigación que representa Buffon en el terreno de la Historia Natural presenta importante problemas conceptuales externos con el medio intelectual en que se desarrolla. Estos problemas afectan especialmente a las cuestiones metodológicas, pero subyacen también cuestiones relativas a la “visión del mundo”.

El método de Buffon es, tal como hemos visto, racionalista y deductivo, y tiende a la elaboración de un sistema. De las proposiciones generales sobre la naturaleza, la Tierra, el sistema solar y los seres vivos se deducen proposiciones particulares, las cuales se intentan probar con observaciones y experiencias (propias y ajenas). Las incursiones de Buffon en el terreno de la experimentación son diversas. Sus trabajos con enfriamiento de esferas de diversos materiales sirvieron de base a una cronología novedosa de la edad de la Tierra, pero se realizaron al margen de las tradiciones experimentales de su tiempo: no distinguió calor de temperatura, ni utilizó el termómetro. Sus incursiones en la microscopía no fueron tampoco demasiado satisfactorias.

En el medio intelectual que Buffon vive y escribe los estándares comúnmente admitidos de “buena ciencia” van por un camino totalmente distinto. El método baconiano e inductivo, la delimitación de los problemas, la observación de regularidades, la actuación paciente de la razón sobre los datos de la experiencia, serían las líneas generales en que se mueven la mayoría de los naturalistas del siglo XVIII. Todo ellos contrasta con la especulación racionalista de Buffon, con su ambición de crear grandes sistemas explicativos, pero también contrasta con su lectura “sensualista” de los empiristas ingleses, por su desconfianza de aparatos como el termómetro, por su interés por acceder a la naturaleza directamente con los sentidos desnudos.

Detrás de estas diferencias normativas se esconden diferencias de “visión del mundo”. La de Buffon revela importantes influencias

cartesianas y leibnizianas. Racionalista convencido, cree poder abarcar la totalidad de la realidad que le circunda a partir de un sistema comprensivo, totalizador e integrado. Partidario decidido de la separación de ciencia y religión, está convencido de la capacidad interna de la materia para organizarse, lo que le lleva tanto a defender la epigénesis como los procesos autoformativos en el interior de la Tierra y del sistema solar sin ninguna necesidad de recurrir a la intervención divina. Así critica a los fisicoteólogos, pero también muestra su desprecio hacia los naturalistas que estudian a los insectos en clave moralista o edificante.

Pero serán las cuestiones relativas al método las que impedirán a la TI que representa Buffon adaptarse y sobrevivir en su medio intelectual. A pesar de sus éxitos editoriales, a pesar del interés con que muchos de sus contemporáneos leían sus obras, a pesar de su continua reivindicación de la “inducción”, para la mayoría de los naturalistas de su época Buffon fue un especulador, un “cosmólogo”, un “hacedor de sistemas”. La generación siguiente de naturalistas, Georges Cuvier (1769-1832), Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829), Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819), y otros, los que ocuparan las cátedras de Museo Nacional de Historia Natural (nombre que tomó el Jardín del Rey después de la Revolución Francesa) renegaron explícitamente de Buffon en nombre del ideal baconiano y linneano de la ciencia, es decir, el modelo que Buffon siempre había combatido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALSINA, Jose. El método de Buffon a la Histoire Naturelle. Pp. 639-646, in: *Actes de la VII trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: SCHCT, 2003.
- . Modelos de cambio científico a partir de la selección natural: análisis y propuestas. *Llull*, 29: 221-257, 2006.
- . De la Teoría de la Tierra a Las Épocas de la Naturaleza de Buffon: análisis de una mutación conceptual. *Llull*, 32: 5-32, 2009.
- . *Buffon y el descubrimiento del tiempo geológico*. Barcelona: Ediciones Nueva República, 2012.
- BROCK, William H. *Historia de la Química*. Madrid: Editorial Alianza, 1992.

- BUFFON, Georges Louis Leclerc, comte de. *Historia Natural*. Tomo I. Madrid: Imprente de Don Vicente Frossart y Compañía, 1844.
- . *Les Époques de la Nature*. Édition critique de Jaques Roger. Paris: Éditions du Muséum, 1988.
- . *Las Épocas de la Naturaleza*. Edición de Antonio Beltrán Marin. Madrid: Editorial Alianza, 1997.
- BUTTERFIELD, Herbert. *Los orígenes de la ciencia moderna*. Madrid: Editorial Taurus, 1982.
- ESTANY, Anna. *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica, 1990.
- HANKINS, Thomas L. *Ciencia e Ilustración*. Madrid: Siglo XXI, 1988.
- JAEGER, Werner. *La teología de los primeros filósofos griegos* [1947]. Mexico/ Buenos Aires: Fondo de Cultura Económico, 1952.
- LAUDAN, Larry. *El progreso y sus problemas*. Madrid: Ediciones Encuentro, 1986.
- ROGER, Jaques. Introduction. Pp. i-clii, in: BUFFON, Georges Louis Leclerc (comte de). *Les Époques de la Nature*. Édition critique de Jaques Roger. Paris: Éditions du Muséum, 1988.

**Data de submissão:** 31/10/2015

**Aprovado para publicação:** 11/11/2015



# Motivação e emoção no ensino de biologia: análise de sequência didática sobre a viagem de Wallace ao Brasil

Rosa Andrea Lopes de Souza \*

Maria Elice Brzezinski Prestes #

**Resumo:** Alfred Russel Wallace (1823-1913) realizou viagem naturalística ao Brasil entre os anos de 1848 e 1852, acompanhado em parte do período por Henry Walter Bates (1825-1892). Os dois naturalistas britânicos se dedicaram ao estudo da variedade de animais e plantas da região amazônica e coleta de espécimes para análises posteriores na Inglaterra. Particularmente, os estudos de Wallace sobre as palmeiras amazônicas inspiraram a elaboração, validação, aplicação e avaliação de uma sequência didática a alunos do ensino médio de uma escola pública do município de São Paulo. A intervenção de ensino teve como objetivo principal trabalhar esse episódio histórico com os estudantes como ferramenta de motivação e facilitação do processo de ensino-aprendizagem de conteúdos científicos relacionados à taxonomia e filogenia. Neste artigo, são apresentados resultados de pesquisa do impacto da inserção desse episódio histórico sobre os componentes motivacionais e emocionais dos alunos ao longo das aulas, com dados coletados por meio da aplicação de dois questionários específicos validados pela literatura da área. A análise dos resultados mostrou que o episódio da história da biologia selecionado, a viagem de Wallace pela Amazônia e seus estudos sobre as palmeiras, surtiu efeitos positivos na promoção da emoção e motivação dos alunos para o estudo da classificação filogenética de plantas.

**Palavras-chave:** naturalistas viajantes; Wallace, Alfred Russel; sequência didática; motivação; emoção; classificação filogenética

---

\* Colégio Cristão Jundiáí, Jundiáí, SP. Rua Anchieta, 313, São Paulo, SP, CEP 13201-804. E-mail: rosa.andrea1969@gmail.com

# Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Rua do Matão, 277, sala 317A, Cidade Universitária, São Paulo, SP, CEP 05508-090. E-mail: eprestes@ib.usp.br

## Motivation and emotion in biology teaching: analysis of a teaching learning sequence on Wallace's travel to Brazil

**Abstract:** Alfred Russel Wallace (1823-1913) held naturalist travel to Brazil between the years 1848 and 1852, accompanied in part of the period by Henry Walter Bates (1825 to 1892). The two British naturalists devoted themselves to the study of the variety of animals and plants of the Amazon region, collecting specimens for further analysis in England. In particular, Wallace studies on Amazonian palm trees inspired the development, validation, implementation and evaluation of a teaching learning sequence for high school students from a public school in São Paulo. The educational intervention aimed to work this historical episode with students as a motivation and facilitating tool for the teaching-learning process of scientific content related to taxonomy and phylogeny. In this article we present research results of the impact of the inclusion of this historical episode on the motivational and emotional components of the students during the lessons, with data collected through the application of two specific questionnaires validated by the literature. Results showed that the selected history of biology episode, Wallace's travel through the Amazon and his studies of the palm trees, has had positive effects in promoting emotion and motivation of students to the study of phylogenetic classification of plants.

**Key-words:** travel naturalists; Wallace, Alfred Russel; teaching learning sequence; motivation; emotion; phylogenetic classification

### 1 INTRODUÇÃO

A inserção de História e Filosofia da Ciência no ensino é uma das formas de propiciar o ensino contextual das ciências. Dentre as possibilidades de contextualização, a abordagem inclusiva da História da Ciência trabalha episódios históricos em meio a um curso de ciências regular, não histórico (Matthews, 2004, p. 70).

Com essa perspectiva, neste trabalho foi desenvolvida uma sequência didática para alunos do ensino médio de uma escola pública do município de São Paulo baseada na viagem do naturalista inglês, Alfred Russel Wallace (1823-1913), ao Brasil, na região amazônica, entre os anos de 1848 e 1852.

O estudo permite conhecer as razões que motivaram a escolha do Brasil, entre diferentes regiões tropicais, por naturalistas-viajantes do século XIX. Wallace realizou suas atividades de coleta e classificação

de animais e plantas amazônicas enquanto esteve no país. Embora uma parte dessa coleção tenha se perdido, outra parte foi remetida à Inglaterra, para estudo posterior. De volta à Londres, entre os anos de 1852 e 1853, Wallace escreveu e publicou alguns artigos e dois livros sobre a sua viagem e os estudos dos espécimes amazônicos. Desse material, destaca-se o estudo que realizou sobre as palmeiras, selecionado como tema nuclear para a elaboração, validação, aplicação e avaliação de uma sequência didática para alunos do ensino médio.

Como pressuposto da pesquisa, considerou-se que a história da ciência pode constituir uma estratégia de motivação para a aprendizagem de ciências e da biologia em particular (Prestes & Caldeira, 2009). O foco da pesquisa recaiu sobre a análise da motivação e do componente particular da emoção dos alunos como elementos constitutivos de uma aprendizagem significativa de conhecimentos científicos e históricos.

## 2 OS NATURALISTAS VIAJANTES DO SÉCULO XIX

As primeiras décadas do século XIX marcaram o florescimento de investigação intensiva, pode-se dizer profissionalizada, sobre a flora e fauna do “Novo Mundo” (Papavero, 1971, p. 112). No caso do Brasil, nos séculos anteriores, a entrada de estudiosos da natureza foi limitada pela política mercantilista de Portugal voltada à exploração exclusiva dos recursos naturais de sua colônia americana.

Entre os diferentes territórios brasileiros, a Amazônia sempre despertou maior interesse de estudiosos da natureza. Explorada por portugueses e espanhóis desde o século XVI, também era conhecida de outros europeus que cruzaram o Oceano Atlântico, ao longo dos séculos XVII e XVIII, para “conhecer e estudar a geografia, a flora, a fauna e os modos de ser e de viver dos povos da América do Sul” (Belluzo, 1994). Os europeus que visitaram a Amazônia também se interessavam pelos diversos povos nativos cuja sobrevivência dependia desses recursos naturais. Eles promoveram vastas representações, muitas vezes paradoxais, sobre a vida nessa parte do Brasil, desde o Renascimento (Gerbi, 1996, pp. 15-17). As expedições dos naturalistas contribuíram ainda mais para a circulação de imagens e relatos dessa região na Europa. Entre os exemplos clássicos, podem ser cita-

dos Willem Piso (1611-1678) e Georg Markgraf (1610-1644), que participaram da incursão holandesa de Maurício de Nassau a Pernambuco, a expedição francesa chefiada por Charles Marie de la Condamine (1701-1774) e a expedição realizada pelo naturalista alemão Alexander von Humboldt (1769-1859) acompanhado do francês Aimé Bonpland (1773-1858).

As peculiaridades atrativas da floresta tropical eram muitas, passando por sua enorme diversidade de espécies dos mais diferentes grupos de mamíferos, de aves, de répteis, de peixes, de insetos, de plantas. A imagem pujante da paisagem tropical apresentava-se como ambiente privilegiado aos naturalistas para o estudo da história natural que aprendiam nos centros acadêmicos europeus, sinalizando para o grande potencial de novas espécies a serem descobertas e descritas. Atraía também aos artistas, interessados em tomar a floresta como modelo iconográfico (Kury, 2001, p. 865; Knight, 2001, p. 811). E, sobretudo, a floresta oferecia vasto potencial de exploração de recursos naturais para a alimentação, aplicação medicinal, vestimentas, construção etc. – o que foi predominante na orientação mercantilista que marcou a exploração colonial da Coroa portuguesa de finais do século XVIII (Moreira Leite, 1995, p. 7; Prestes, 2001).

Com a fuga da família real portuguesa para o Brasil, em 1808, devido à aproximação dos exércitos napoleônicos, uma de suas consequências imediatas foi a abertura dos portos e a vinda de considerável corpo diplomático, oficializando a abertura do território a pesquisadores europeus (Vanzolini, 1996, p. 192). Após o final das guerras napoleônicas, ocorridas entre 1803-1815, e subsequentes transformações políticas em diversos países europeus, aumentou o interesse de estrangeiros pelo Brasil. O país era considerado seguro e com portos equipados, como os do Rio de Janeiro e Salvador, atraindo naturalistas viajantes das mais diferentes nacionalidades, como franceses, alemães, russos e ingleses (Domingues, 2012, p. 251; Martins, Luciana, 2001, p. 103).

### **3 A VIAGEM DE WALLACE E BATES**

Dentre os diversos naturalistas estrangeiros que percorreram o Brasil no século XIX estavam o galês Alfred Russel Wallace e (1823-1913) e o inglês Henry Walter Bates (1825-1892). Ambos se tornaram

conhecidos por seus estudos posteriores relacionados à teoria evolutiva das espécies. Wallace, por desenvolver, independentemente e em paralelo a Charles Darwin (1809-1882), o conceito de evolução por seleção natural (Carmo & Martins, 2006; Carmo, Bizzo & Martins, 2009). Bates, por descrever o mimetismo como mecanismo evolutivo. Neste artigo, serão analisadas contribuições de um período de suas vidas que é anterior ao desenvolvimento das ideias de evolução das espécies.

Em sua expedição à Amazônia, o objetivo dos jovens naturalistas era obter informações sobre os organismos encontrados, procurando ampliar a diversidade de espécies conhecidas. Além de ilustrar e registrar as observações realizadas, eles coletaram espécimes para remessa e realização de estudos posteriores na Inglaterra. As coletas eram feitas em duplicatas para venda, por meio de um agente, a colecionadores e instituições museológicas interessadas, subsidiando, dessa forma a viagem. A venda desses espécimes e pequenos empréstimos familiares mantiveram financeiramente os dois naturalistas no Brasil (Fichman, 2004, p. 22-23).

A “imagem pujante dos trópicos” foi relevante na escolha de Wallace e Bates pela viagem ao Brasil. Os trópicos acenavam com a promessa de uma riqueza de coleções exóticas, em face do grande número de espécies diferentes. Porém, “sua exuberância e proliferação também minavam a ordem natural estabelecida, oferecendo um desafio a jovens naturalistas” (Martins, Luciana, 2001, p. 104). Além disso, Wallace e Bates inspiraram-se em expedições anteriores, com a leitura de obras de naturalistas-viajantes, como as de Alexander von Humboldt (1769-1859) e de William Henry Edwards (1822-1901) em seu livro *A Voyage up the Amazon*, de 1847 (Wallace, 1905, pp. 264-265).

Wallace e Bates chegaram à Amazônia em 1848, percorrendo juntos os rios da região até 1850. Em 1849 e 1850 fizeram duas remessas para a Inglaterra, contendo milhares de espécimes de vegetais e animais (Fichman, 2004, p. 20; Raby, 2001, p. 15; Brooks, 1984, p. 18). Em 1850, optaram por fazer expedições em regiões diferentes do rio Amazonas e seus afluentes, de modo a multiplicar a variedade de ambientes e espécimes coletados. Enquanto Bates seguiu subindo o rio Amazonas em direção à região em que o rio passava a se chamar Solimões, Wallace seguiu pelo rio Negro.

## 4 O DESTINO DAS COLEÇÕES DE WALLACE E SUAS PUBLICAÇÕES

Entre 1850 e 1852, Wallace continuou estudando a distribuição geográfica e hábitos de peixes, macacos, borboletas, besouros etc. (Wallace, 1889). O seu olhar sobre a flora foi particularmente atraído para as palmeiras. Ao mesmo tempo, observou atentamente os diferentes povos indígenas e os habitantes de vilas e fazendas. Para esses contatos, ele dispunha de cartas de apresentação que lhe foram fornecidas por William Edwards e Edward Doubleday (1811-1849) (Wallace, 1905, pp. 264-267).

Wallace mantinha um diário<sup>1</sup> em que registrava informações sobre os vegetais e animais que coletava ou observava (Moreira, 2002). Ele se preocupava em descrever detalhadamente essas informações relacionadas às características do ser vivo tais como cor, forma e hábitos de sobrevivência e alimentação, à sua distribuição no ambiente e aspectos desse ambiente natural. Essa prática sistemática contribuiu enormemente para que ele pudesse traçar a distribuição geográfica dos seres vivos nos mais diferentes ambientes.

Para sua surpresa, ao retornar a Belém, para dali seguir à Inglaterra, em 1852, Wallace encontrou, nos armazéns do porto, aguardando liberação alfandegária, toda a coleção biológica angariada nos últimos dois anos de viagem. Em julho desse ano, Wallace conseguiu finalmente embarcar todo o seu material no navio Helen. Contudo, ao longo do percurso, o navio incendiou-se. Juntamente com a tripulação, Wallace escapou com vida, só tendo tempo de levar consigo no bote salva-vidas o seu diário e alguns desenhos de peixes<sup>2</sup> e palmeiras (Marchant, 1916; Wallace, 1905; Fichman, 2004).

Nos meses que se seguiram ao seu retorno à Inglaterra, Wallace publicou o livro *A narrative of travels on the Amazon and Rio Negro* em 1853<sup>3</sup>. Nele relatou suas experiências e aventuras ao longo dos rios

---

<sup>1</sup> Como expressou Luciana Martins, a narrativa de viagem era necessária como ato de afirmação do viajante no retorno ao seu país de origem (2001, p. 47).

<sup>2</sup> Os seus desenhos de peixes foram objeto de uma publicação recente no Brasil (Ragazzo, 2002).

<sup>3</sup> Esse livro foi reeditado em 1889 e publicado há poucas décadas no Brasil (Wallace, 1979).

amazônicos. Publicou também diversos artigos em que discutiu os hábitos de animais, as características botânicas de plantas, a distribuição geográfica de organismos e a geologia da região amazônica<sup>4</sup>.

Durante a viagem, Wallace havia se concentrado na coleta de animais, cujos espécimes eram de mais fácil comercialização entre os colecionadores ingleses. Porém, ali se manifestou também o seu antigo interesse pela botânica, desenvolvido na juventude, quando trabalhava com os irmãos, realizando levantamentos topográficos em cidades do interior da Inglaterra (Fichman, 2004, p. 16; Carmo, 2011, p. 56). As muitas plantas da floresta chamaram sua atenção pelo porte que apresentavam e pelos usos que delas faziam a população local.

Como mencionado anteriormente, a quantidade e exuberância de palmeiras nativas que encontrou ao longo dos rios amazônicos despertaram seu interesse e curiosidade. O naturalista chegou a considerar as palmeiras “a característica mais marcante” dos trópicos:

Em todos os lugares também se elevam as graciosas palmeiras, verdadeiros habitantes dos trópicos, dentre os quais são a característica mais marcante. Eram abundantes em todos os lugares dos distritos que visitei e logo me interessei por elas, a partir de sua grande variedade de forma e beleza, como também dos muitos usos que lhes são feitos (Wallace, 1853, p. v).

Como resultado desses estudos, publicou um pequeno livro sobre as palmeiras, *Palm trees of Amazon and their uses* (1853). Além dos desenhos e descrições botânicas, o livro registra a distribuição geográfica dessas árvores e os usos de suas estruturas – folhas, frutos, sementes, caules, raízes – pelas diversas populações indígenas e habitantes locais com que teve contato, contribuindo também para o conhecimento antropológico da região (Brooks, 1984, pp. 52-53). Descreveu 48

---

<sup>4</sup> Foram desse período os seguintes artigos: “On the monkeys of the Amazon” (1852), publicado na *Zoological Society of London*; “On the Insects used for food by the Indians of the Amazon” (1853), publicado no *Entomological Society of London*; “On the Rio Negro” (1853), publicado na *Royal Geographical Society*; “On some fishes allied to Gymnotus” (1853), publicado na *Zoological Society of London*; “Some remarks on the habits of the Hesperidae” (1853), publicado na edição de maio do *Zoologist*; “On the habits of the butterflies of the Amazon Valley” (1853), artigo apresentado pelo próprio Wallace, na condição de visitante na *Royal Entomological Society of London*.

espécies diferentes de palmeiras, das quais 14 como novas para a comunidade científica da época. Os desenhos que fez das palmeiras foram considerados bastante precisos pelos botânicos ingleses contemporâneos, sendo até hoje citados na literatura botânica sobre palmeiras (McKinney, 2007, p. 2.579).

Precisamente o estudo de Wallace sobre as palmeiras foi selecionado para a elaboração de uma sequência didática para alunos do ensino médio, com o objetivo de promover o ensino-aprendizagem de classificação biológica e filogenia dos seres vivos, além de conhecimentos sobre expedições científicas do século XIX no Brasil. A intervenção didática foi objeto de uma pesquisa empírica sobre a motivação e emoção dos estudantes para a aprendizagem, por meio de um estudo de caso histórico, cujos aspectos teóricos serão tratados nas duas próximas seções.

## **5 MOTIVAÇÃO E EMOÇÃO NA APRENDIZAGEM DAS CIÊNCIAS**

Pesquisas na área da educação científica têm procurado desenvolver uma reorganização da educação em ciências (Green, 2002; Cachapuz et. al., 2005; Pozo; Gomez-Crespo, 2009). Essa reformulação passa por uma compreensão mais ampla dos processos interativos em sala de aula, o que tem impulsionado investigações no sentido de se entender as múltiplas e complexas variáveis que se estabelecem entre os participantes do contexto educacional nesse ambiente de ensino e aprendizagem. Trata-se de compreender não apenas as variáveis relacionadas à dimensão cognitiva, mas também aquelas que dizem respeito aos aspectos subjetivos e emocionais, seja facilitando, seja criando obstáculos ao processo de ensino-aprendizagem (Monteiro & Gaspar, 2007).

Assim, a motivação para aprender configura-se como um dos principais problemas na dinâmica do ensino e aprendizagem das ciências. No cotidiano escolar, é possível perceber que a motivação de um aluno para realizar uma atividade em classe ou uma lição de casa pode, por exemplo, ser originada por curiosidade e interesse pessoal ou, noutro exemplo, porque ele quer obter boas notas, a aprovação de seu professor ou mesmo dos pais.

Essas duas situações motivacionais levaram os psicólogos Richard M. Ryan e Edward L. Deci a nomeá-las motivação “intrínseca” e motivação “extrínseca” (Deci & Ryan, 1985; 2000). Pela motivação intrínseca o estudante sente prazer quando aprende algo novo ou consegue realizar uma tarefa desafiadora, criando sentimentos de confiança e domínio que se auto reforçam, de modo que o aluno estará mais inclinado a envolver-se em novas atividades de aprendizagem. Por sua vez, a motivação extrínseca deriva de fatores externos ao estudante e à tarefa realizada, como recompensas, elogios, privilégios ou atenção. Pela motivação extrínseca o aluno está em busca de algum resultado positivo ou benefício pessoal que é concedido pelo “outro”, por exemplo, concedido pelo professor ou pelos pais (Deci & Ryan, 1985; Ryan & Deci, 2000, p. 55; Deci, Koestner & Ryan, 2001, pp. 15-17).

Nessa perspectiva, um dos desafios do ensino de ciências refere-se a incentivar uma maior manifestação de motivação intrínseca para a aprendizagem nos alunos. Desafio nada simples, certamente! Pesquisas atuais na área educacional adotam a perspectiva da motivação cognitivo-social, em que a aprendizagem pode ser significativamente influenciada por aspectos do contexto de sala de aula (Pintrich & Schunk, 1996). Sob esse aspecto, é particularmente importante perceber que determinadas estratégias de aula podem aumentar (ou não) a motivação do aluno em sua aprendizagem.

Na mesma perspectiva, Debra Meyer e Julianne Turner (2006) (re)conceituam a emoção e a motivação dos alunos para aprender em diferentes contextos de aula. As autoras, baseando-se em teorias sobre a aprendizagem<sup>5</sup> selecionadas a partir de pesquisas sobre a motivação dos alunos durante sua participação nas atividades, investigam a influência de ambientes “positivos”. Em seus estudos, analisam como as emoções tornam-se centrais em explorar e compreender os

---

<sup>5</sup> Na tentativa de investigar por que e como os alunos se aproximam ou evitam determinadas atividades de aprendizagem consideradas desafiadoras, ou mesmo em que condições instrucionais apresentam motivação intrínseca para realizá-las, Meyer e Turner analisaram alguns quadros teóricos (*Risk taking*, *Flow theory* e *Goal theory*), selecionados da literatura especializada, que relacionam a emoção como parte integrante, não somente da motivação dos alunos para a aprendizagem, mas também como parte integrante de um ensino eficaz (Meyer & Turner, 2006, p. 379).

padrões de motivação e auxiliar na interpretação de como os professores e alunos cooperam entre si na criação de um ambiente positivo de aprendizagem (Meyer & Turner, 2006, pp. 377-380).

## 6 EPISÓDIO HISTÓRICO COMO ELEMENTO MOTIVACIONAL PARA ENSINO-APRENDIZAGEM

A literatura especializada apresenta diversas reflexões da importância da inserção da História da Ciência no ensino de ciências (Hodson, 1985, 2009; Martins, 1990; Matthews, 1994; Bevilacqua & Gianetto, 1996; Carvalho & Vannucchi, 2000; Allchin, 2000, 2004, 2007; Peduzzi, 2001; Martins & Silva, 2003; Prestes & Caldeira, 2009). Esses trabalhos, de uma maneira geral, defendem que a introdução adequada da História da Ciência contribui para promover o ensino porque, entre outras razões, motiva e atrai os alunos, humanizando o conteúdo ensinado e facilitando a compreensão dos conteúdos científicos.

A defesa da inclusão de aspectos históricos, assim como filosóficos e sociológicos da ciência no currículo de Ciências no ensino fundamental e de Física, Química e Biologia no ensino médio é acompanhada, contudo, há várias décadas, de alertas sobre dificuldades que precisam ser superadas. Cibele Celestino Silva ressalta que a história da ciência utilizada no ensino “não deve ser uma mera caricatura dos cientistas e dos fatos históricos num amontoado de anedotas engraçadas” (Silva, 2006, p. ix)<sup>6</sup>.

Nessa linha, também não se trata de incluir os aspectos históricos como novos conteúdos a serem memorizados mecanicamente pelos estudantes, mas de tomar a História da Ciência como uma *ferramenta* para promoção do ensino-aprendizagem de conteúdos e procedimentos científicos. Essa perspectiva instrumental resolve um dos problemas mais comumente apontados pelos professores, que é o da falta

---

<sup>6</sup> Douglas Allchin chama a atenção ainda para os danos decorrentes da utilização de o que denomina “pseudo-história”. Embora baseada em acontecimentos históricos, a pseudo-história distorce as bases da autoridade científica e fomenta estereótipos injustificados, principalmente por “romantizar” a história dos cientistas, supervalorizar suas descobertas ou trabalhos e simplificar demais o processo científico (Allchin, 2004, p. 179).

de tempo em um currículo já abarrotado de conteúdos conceituais, procedimentais, atitudinais da própria ciência que ensinam. Em que momento poderia, ainda, ser incluído o conteúdo histórico?

Michael Matthews sugeriu uma estratégia para enfrentar essa dificuldade, a “abordagem inclusiva” (*add-on approach*) da História da Ciência (Matthews, 1994, p. 70). Com esse termo, ele fez referência à introdução de episódios históricos particulares ao longo de unidades didáticas tradicionais de cursos de ciências. A perspectiva da abordagem inclusiva implica que o professor tenha autonomia na elaboração do programa de aprendizagem e possa inserir, com flexibilidade e segundo o perfil do grupo particular de alunos com que trabalha, este ou aquele episódio de História da Ciência, conforme os objetivos educacionais que deseja focalizar a cada curso (Prestes & Caldeira, 2009). Essa introdução pontual minimiza o impacto sobre o restante do programa preconizado pelos documentos curriculares oficiais e planos de ensino desenvolvidos em cada escola.

A essa vantagem curricular, os episódios históricos acrescentam benefícios que a literatura de pesquisas educacionais e de teorias psicológicas de aprendizagem aponta no emprego de estudos de caso – exemplos concretos, complexos e contextualizados – como veículos do processo ensino-aprendizagem (Allchin, 2013). Episódios históricos trabalhados por meio de narrativas que contextualizam aspectos humanos e sociais da ciência estimulam a motivação do estudante e com ela a retenção dos conteúdos científicos (Stinner *et al.*, 2003).

Outra dificuldade da introdução da História da Ciência no ensino é decorrente do fato dessa disciplina não fazer parte da grande maioria dos cursos de licenciatura das áreas científicas em nosso país (Silva, Bizzo, Prestes, 2015). Ao mesmo tempo, há pouco material disponível, especialmente em língua portuguesa, para que o professor da educação básica possa trabalhar com a história da ciência na sala de aula. Assim, é necessário um esforço conjunto, numa tarefa nada trivial, de aproximação entre os trabalhos desenvolvidos pelos historiadores da ciência e os professores que promovem reflexão e pesquisa sobre o ensino de ciências. Os historiadores da ciência têm papel importante na elaboração e produção de conteúdos de História da Ciência que possam ser usados no ensino (Peduzzi *et al.*, 2012, p. 8). O episódio histórico desenvolvido nesta pesquisa tem o intuito de

oferecer uma contribuição para esse conjunto ainda limitado de materiais de história da biologia para o ensino<sup>7</sup>.

## 7 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O episódio histórico dos estudos de Alfred Russel Wallace sobre as palmeiras na Amazônia, no século XIX, serviu de subsídio para a elaboração de uma sequência didática de oito aulas. Cada uma das aulas foi planejada com diferentes estratégias de ensino e materiais instrucionais específicos. A sequência didática foi elaborada pela primeira autora deste artigo em parceria com Maíra Batistoni e Silva, professora regente das turmas em que foi aplicada. Os materiais instrucionais que a integram foram elaborados pela primeira autora do artigo. Uma vez finalizada, a sequência didática passou por etapas de validação junto a membros do grupo de pesquisa em História da Biologia e Ensino do Instituto de Biociências da USP.

Na aula 1, os estudantes conheceram, por projeção de *Datashow*, as principais observações de Wallace ao longo de todo o trajeto percorrido nos rios amazônicos. Viram imagens de algumas das palmeiras que ele estudou e desenhou nesse percurso, as quais serviram de base às aulas seguintes da sequência didática. Em pequenos grupos de trabalho na sala de aula, os alunos registraram, em mapas que lhes foram fornecidos de rios da região, as diversas observações realizadas por Wallace.

Na aula 2, os alunos saíram a campo para efetuar os desenhos e registros de palmeiras encontradas no entorno da escola (Figura 1). Nessa prática, eles foram orientados a reconhecer as principais estruturas morfológicas das árvores (raiz, caule, folha, fruto, flor).

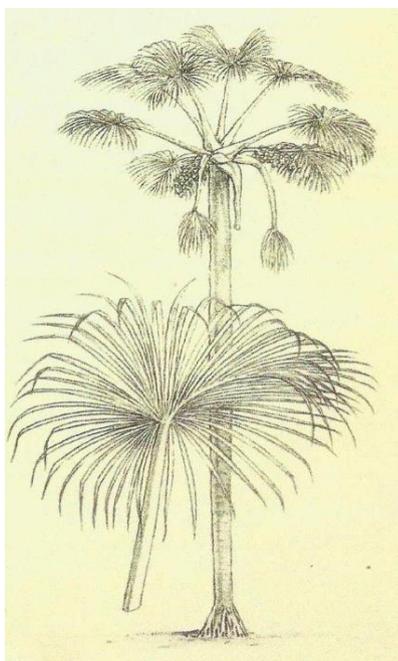
Nas aulas 3 e 4 da sequência, organizados em pequenos grupos, os alunos manipularam um material instrucional composto por 13 cartões com os desenhos de Wallace (Figura 2) e outros 13 cartões com fotos atuais das mesmas palmeiras. No verso de cada cartão, encontram-se, respectivamente, transcrições das descrições de Wallace e da literatura atual.

---

<sup>7</sup> O episódio histórico é desenvolvido de modo detalhado em capítulo da dissertação de mestrado (Souza, 2014) que deu origem a este artigo.



Figura 1. Desenhos de palmeiras realizados por alunos do 2º ano do ensino médio de escola pública de São Paulo, em 2013.



**10- Características:** Esta é uma das mais nobres e majestosas das palmeiras americanas. Ela cresce a uma altura de 80 a 100 pés<sup>1</sup>. O caule é reto e liso, com cerca de 5 pés de circunferência, muitas vezes perfeitamente cilíndricos, mas em algumas plantas apresenta um inchaço perto do meio ou próximo ao topo do caule, de modo que a parte inferior seja mais fina. As folhas se distribuem em todas as direções a partir do ápice do caule. Elas são muito grandes, com cerca de 10 a 12 pés de comprimento, e em forma de leque, elas ficam apoiadas em longas hastes, retas e grossas próximas ao caule. Os frutos são esféricos, do tamanho de uma pequena maçã e cobertas com pequenas escamas lisas de cor marrom, sob a qual se encontra uma fina camada de polpa.

**Ocorrência:** Essa palmeira é social, cobrindo grandes extensões das regiões alagadas do Baixo Amazonas.

**Referência bibliográfica**

WALLACE, Alfred Russel. **Palm trees of Amazon and their uses.** John Van Voorst, 1 Paternoster Row, 1853.

**Disponível em:**

<http://www.archive.org/details/palmtreesofamaz00wall>.

Unidade de comprimento, equivale a aproximadamente 30,5 cm.

Figura 2. Exemplo de cartão constitutivo de material instrucional produzido para a sequência didática: desenhos e descrição original de Wallace.

Na aula 3, os estudantes, compararam as características das palmeiras nos dois estilos de imagens, anotando em uma tabela as principais diferenças e semelhanças observadas. Na aula 4, iniciaram um processo de classificação biológica com base nos critérios estabelecidos a partir da análise das imagens das palmeiras (fossem elas dos cartões com os desenhos de Wallace ou dos cartões com as fotos atuais). Preencheram um estudo dirigido que norteou a formação dos agrupamentos de palmeiras (Figura 3).

Para a aula 5 foi elaborada uma chave dicotômica das 13 espécies de palmeiras selecionadas. Sendo a primeira vez que trabalhavam com esse tipo de material, inicialmente foram orientados sobre os procedimentos envolvidos em “correr” a chave. Além desse objetivo procedimental, a atividade almejou apresentar os nomes populares e científicos das palmeiras, destacando o papel da nomenclatura no estudo de seres vivos. A atividade possibilitou também a consolidação de informações sobre as estruturas vegetais utilizadas na classificação realizada nas aulas 3 e 4 e necessárias à construção da filogenia das aulas seguintes.

**Ensaio de Aplicação da FEUSP**

**Atividade 7**  
(Classificação das Palmeiras observadas) Prof.ª Márcia e Erica Andriola Data: \_\_\_\_\_

Aluno (a): \_\_\_\_\_ aC. \_\_\_\_\_ 2º ano \_\_\_\_\_ Ensino\_Médico

Vamos estabelecer agora, uma organização das palmeiras de Wallace. Tentem formar grupos com as espécies de palmeiras presentes no número 1 e 2, numeradas de 1 a 13. Como os dois alunos experimentem as mesmas palmeiras, vocês escolham com qual dos autores pretendem trabalhar. A ideia é começar organizando as espécies em grupos, que chamaremos de gêneros (esta devem conter as palmeiras mais semelhantes entre si de que com quaisquer outras presentes em outros grupos). Atribuem um número cada gênero que conseguirem formar.

1) Quantos gêneros vocês conseguiram formar?

2) Quais critérios vocês utilizaram para formar esses novos grupos?

Agora, procurem formar novos grupos a partir dos gêneros, reagrupando-os em grupos maiores. Esses novos grupos representam o que chamaremos de subfamílias das palmeiras.

3) Compreendo-se a formação de grupos na categoria de subfamílias com o dos gêneros, como vocês avaliam essa tarefa?

( ) mais fácil      ( ) a mesma coisa      ( ) mais difícil

4) Finalizam a atividade completado a tabela abaixo com os grupos que conseguiram formar das palmeiras analisadas. Na linha das "espécies" escrevem o número referente as das palmeiras que organizaram. Esta organização constitui os gêneros (utilize os símbolos G1, G2, G3, etc) que deve ser escrito na linha correspondente aos "gêneros". Por fim, completem a linha das "subfamílias" com os grupos maiores que conseguiram formar com gêneros (utilizam os símbolos S1, S2, etc).

**Classificação das Palmeiras de Wallace**

Ordem	Arcales
Família	Arcales
Subfamília	
Gêneros	
Espécies	

Figura 3. Material instrucional produzido para os alunos definirem critérios de classificação das palmeiras.

Na aula 6, expositivo-dialogada, a professora regente da classe apresentou aos alunos uma abordagem histórica das classificações e nomenclatura em Lineu, seguida dos princípios de filogenia derivados da teoria evolutiva de Darwin.

Na aula 7, em pequenos grupos, os alunos basearam-se nos princípios de filogenia apresentados na aula anterior para a construção de uma matriz filogenética das 13 palmeiras estudadas.

Por fim, na aula 8, com base nas matrizes das palmeiras, os alunos construíram árvores filogenéticas. A professora explicou aos alunos que essa produção seria utilizada como instrumento de avaliação de aprendizagem.

A aplicação ocorreu em duas turmas do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública do município de São Paulo, no primeiro semestre de 2013. Os alunos, com faixa etária entre 15 e 16 anos, receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em conformidade à resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, solicitando a autorização dos mesmos e de seus pais, visto que eram menores de idade.

A sequência didática foi acompanhada pela realização de pesquisa sobre os aspectos motivacionais e emocionais dos alunos no processo de ensino-aprendizagem conforme apresentado nas próximas seções.

## 8 METODOLOGIA DA PESQUISA EMPÍRICA

A análise da sequência didática apresentada neste artigo foi feita por meio de dois questionários validados na literatura, um sobre emoção (Randler *et al.*, 2011) e outro sobre motivação (Tuan, Chin & Shieh, 2005)<sup>8</sup>. Esses questionários foram aplicados em diversos momentos. No entanto, serão discutidas aqui as respostas fornecidas nas aulas 1 e 8, por serem aulas desenvolvidas com estratégias didáticas bem diferentes entre si. Como mencionado anteriormente, a aula 1, consistiu de exposição-dialogada sobre a viagem de Wallace ao Brasil,

---

<sup>8</sup> Na dissertação de mestrado que originou este artigo (Souza, 2014), a análise das respostas dos questionários foi triangulada com dados coletados por gravação e transcrição das aulas, registros de observação da pesquisadora sobre as interações na sala de aula e diálogos com a professora regente das turmas, por meio de conversas gravadas e trocas de e-mails.

com maior apresentação pela professora e menor (mas não inexistente) participação dos estudantes. Já a aula 8, voltada à construção de árvores filogenéticas de palmeiras, foi organizada para que os alunos desenvolvessem uma atividade em grupo, caracterizada pela interação dos alunos entre si para resolver situações-problemas e com mediação da professora apenas quando chamada para discutir algum aspecto particular.

Um dos questionários utilizados na pesquisa foi elaborado por Randler *et al.* (2011) e tem por objetivo avaliar as emoções situacionais dos alunos durante as aulas de ciências. Por “emoção situacional” os autores entendem as emoções sensíveis a mudanças e que não são correspondentes, necessariamente, a um fator de traço estável do estudante (como, por exemplo, o interesse “inato” por um tópico específico, como os conteúdos das aulas de Biologia, Física ou Química). O questionário foi construído tendo em vista especialmente o público adolescente e jovem, em aulas de Ciências Naturais. Esse questionário é composto por nove proposições em três categorias que correspondem a bem-estar, interesse e tédio, para cada uma das quais os alunos deveriam atribuir uma valoração em uma escala do tipo Likert<sup>9</sup>. O bem-estar caracteriza-se por um sentimento de alegria e satisfação desenvolvido durante a aula. O interesse relaciona-se à importância e a utilidade no dia-a-dia do assunto específico da aula. O tédio é relacionado à falta de componentes de ação para a aprendizagem, à falta de atenção e aborrecimento com o assunto da aula (Randler *et al.*, 2011).

O outro questionário aplicado refere-se à motivação dos alunos para a aprendizagem de Biologia. Elaborado por Tuan, Chin & Shieh (2005), este questionário apresenta 35 proposições distribuídas em seis categorias ou fatores motivacionais, a saber, auto-eficácia, estra-

---

<sup>9</sup> O questionário sobre emoções é curto, com poucos itens, o que promove a vantagem de ser rapidamente respondido pelos alunos (menos de cinco minutos). Os fatores emocionais se expressam por meio das seguintes proposições: **Bem-estar:** 1) A aula me agradou. 2) Eu fiquei satisfeito(a) com a aula. 3) Eu gostei da aula. **Interesse:** 1) Eu achei o assunto importante. O assunto foi importante. 2) As informações sobre esse assunto proporcionam alguma coisa para mim. 3) Eu quero aprender mais sobre o assunto. **Tédio:** 1) Eu me senti entediado(a). 2) (Hoje) Eu estava distraído(a) com meus pensamentos. 3) A aula foi sonolenta.

tégias de aprendizagem ativa, valor do aprendizado científico, objetivo de desempenho, objetivo de realização pessoal e estímulo do ambiente de aprendizagem. Cada um desses fatores é avaliado por meio de quatro a oito proposições diferentes a que o aluno assinala concordância ou discordância segundo escala de tipo Likert.

## 9 RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Apresentamos a seguir uma discussão sobre as respostas dos estudantes que aparecem no questionário de emoção situacional e, devido às limitações deste artigo, apenas algumas das respostas apresentadas no questionário de motivação.

O número de alunos presentes nas duas aulas, das duas turmas, representando o público-alvo (N) corresponde a 60. Os dados coletados foram somados e organizados em tabelas simples de distribuição de frequências. Considerou-se análise quantitativa univariada, isto é, a descrição das variáveis independentemente da ocorrência de outras (Baptista; Campos, 2013, pp. 168-169). Foram adotados procedimentos estatísticos<sup>10</sup> no tratamento dos dados. A análise individualizada de cada turma mostrou que não houve diferenças significativas entre elas, de modo que se optou por apresentar os dados das duas turmas coletivamente.

Com relação às emoções situacionais, foram encontrados, para a categoria bem-estar (se a aula foi agradável, se se sentiram satisfeitos e se gostaram da aula) os seguintes resultados: a aula 1 (expositivo-dialogada sobre Wallace) proporcionou bem-estar a 84% dos alunos, enquanto a aula 8 (construção de árvore filogenética) proporcionou bem-estar a apenas 69% dos alunos. Interpretando esse resultado com auxílio do registro de observação da pesquisadora, o maior bem-estar na aula 1 pode ser atribuído, em grande parte, à curiosidade que o assunto despertou nos alunos, que fizeram muitas perguntas sobre Wallace, sua viagem, sua vida de pesquisador, comparando princi-

---

<sup>10</sup> Para análise dos dados, somente o número de alunos presentes nas duas turmas do ensino médio nas aulas foi considerado, representando o público-alvo (N) pesquisado. Para o cálculo da frequência relativa, aplicamos:  $F_R = R_E/T_A$ . Onde:  $F_R$  = Frequência Relativa;  $R_E$  = Respostas Efetivas dadas a cada proposição;  $T_A$  = Total de alunos presentes naquela aula da aplicação do questionário sobre emoções.

palmente com o que conheciam sobre Charles Darwin. Por sua vez, na aula 8 o bem-estar parece ter diminuído devido à dificuldade enfrentada na execução da atividade proposta.

Quanto à categoria emocional tédio, na aula 1 aproximadamente 70% dos alunos não se sentiram entediados ou distraídos ou acharam a aula sonolenta, ao passo que na aula 8, isso ocorreu a 58% dos estudantes. Os registros das aulas auxiliam a interpretar esse aumento do tédio ao longo das oito aulas, devido a certa cansaço na repetição do tema (estudo morfológico e taxonômico das palmeiras). Mesmo sendo a aula 8 voltada a uma atividade “mão na massa”, os alunos consideraram a aula 1 menos entediante.

Quanto à categoria interesse, isto é, quanto ao assunto daquela aula ser importante, se gostariam de aprender mais sobre aquele assunto e se a aula proporciona alguma coisa para eles, obteve-se interesse maior na aula 8 (67%), em relação à aula 1 (59%). Esse resultado, triangulado com os registros da pesquisadora, indica manifestação de aspectos de motivação extrínseca, pois, como mencionado anteriormente, os alunos sabiam que a atividade da aula 8 seria computada para a nota e também porque a professora destacou que se tratava de assunto com alta incidência no ENEM e vestibulares.

Quanto aos resultados obtidos com o questionário motivacional para a aprendizagem de Biologia, será tratado aqui apenas um dos seis fatores motivacionais, por ser mais diretamente relacionado às duas aulas analisadas. Será discutida a categoria motivacional “valor do aprendizado de Biologia”, que é analisado por meio de cinco razões: satisfazer a própria curiosidade pelo tema, desenvolvimento de atividades investigativas, estímulo ao raciocínio, resolução de problemas e aplicação no cotidiano.

Nas aulas 1 e 8, 80% dos alunos manifestaram que as aulas de biologia os motivam por satisfazerem sua curiosidade pessoal e 75% deles, que as aulas de biologia são importantes porque os levam a participar de atividades investigativas.

A motivação para o aprendizado como estímulo ao raciocínio foi apontada por 53% dos alunos na aula 1 e 69% na aula 8. Essa diferença era esperada considerando a postura dos alunos nas duas aulas, mais passiva na aula expositivo-dialogada sobre Wallace, mais protagonista na aula em que construíram árvores filogenéticas.

Um resultado mais surpreendente foi relacionado à motivação ocasionada por atividades de resolução de problemas. Os dados obtidos foram 42% na aula 1 e 49% na aula 8. Neste caso, esperava-se um percentual maior do que o encontrado na aula 8, quando os alunos tinham o desafio de elaborar uma árvore filogenética, e um percentual menor do que o encontrado na aula 1, que apresentava uma menor dificuldade cognitiva para os alunos. Talvez, o resultado encontrado indique uma limitação do instrumento de pesquisa, relacionada à compreensão dos termos, pois “resolver problemas”, para alguns alunos, pode estar diretamente relacionado a exercícios da Matemática.

Quanto à motivação derivada da aplicação desses conhecimentos no cotidiano, ela foi reconhecida por 33% dos estudantes na aula 1 e por 44%, na aula 8. Esses resultados estão dentro do esperado na medida em que os temas de ambas as aulas (viagem de um naturalista no século XIX e construção de árvore filogenética) não têm aplicação imediata no dia a dia do estudante.

Alguns aspectos chamam a atenção na comparação dos dados coletados com os dois questionários. Um deles é o de que os estudantes são capazes de reconhecer que alguns assuntos, mesmo sem aplicação direta no seu dia a dia, não deixam de ser interessantes (59% e 67%, respectivamente, aulas 1 e 8) e de lhes proporcionar bem-estar (84% e 69%, respectivamente, aulas 1 e 8). Notadamente, os alunos se envolveram mais, ou seja, manifestaram maior prazer na aprendizagem, na aula em que o episódio histórico foi apresentado – ainda que não se possa concluir que o episódio histórico foi a única causa do efeito encontrado.

Outro aspecto a ser destacado nesse contexto escolar e de pesquisa foi a relação direta encontrada entre a percepção do aluno sobre atividades que estimulam o raciocínio (mais alto na aula 8) e as dificuldades daí advindas (como falta de subsídios para a aprendizagem e consequente aborrecimento com o assunto da aula).

Os resultados da investigação sobre os aspectos motivacionais e emocionais dos alunos durante a sequência didática aqui analisada corroboram a hipótese de que o ensino e aprendizagem de ciências, particularmente de biologia, podem ser facilitados e enriquecidos pela divulgação no meio escolar de investigações da natureza realizadas no

Brasil em épocas passadas. O episódio da história da biologia aqui tratado, a viagem de Wallace pela Amazônia e seus estudos sobre as palmeiras, mostraram-se instrumentos importantes para promover a motivação e emoção dos alunos no estudo de temas botânicos e evolutivos.

### **Agradecimentos**

As autoras agradecem o auxílio do Prof. Dr. Rogério Gonçalves Nigro na pesquisa empírica que resultou na dissertação de mestrado em que se baseia este artigo.

### **Referências Bibliográficas**

- ALLCHIN, Douglas. How not to teach historical case studies in science. *Journal of College Science Teaching*, **30**: 33-37, 2000.
- . Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, **13**: 179-195, 2004.
- . *Teaching the nature of science: perspectives & resources*. Saint Paul (MN): SHiPS Education Press, 2013.
- ALLCHIN, Douglas (ed.). *Teaching science through history: The Minnesota Case Study Collection*. CD-ROM, 2007.
- ALVES, José Jerônimo de Alencar. A natureza e a cultura no compasso de um naturalista do século XIX: Wallace e a Amazônia. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, **18** (3): 775-788, 2011.
- BELLUZZO, Ana Maria de Moraes. *O Brasil dos viajantes*. São Paulo: Metalivros, 1994.
- BEVILACQUA, Fábio; GIANNETTO, Enrico. The history of physics and European physics education. *Science & Education*, **5**: 235-246, 1996.
- BROOKS, John Langdon. *Just before the Origin: Alfred Russel Wallace's Theory of Evolution*. New York: Columbia University Press, 1984.
- CARMO, Viviane Arruda do. *Episódios da história da biologia e o ensino da ciência: as contribuições de Alfred Russel Wallace*. São Paulo, 2011. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

- CARMO, Viviane Arruda do; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. *Filosofia e História da Biologia*, **1**: 335-350, 2006.
- CARMO, Viviane Arruda do; BIZZO, Nelio Vincenzo; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Alfred Russel Wallace e o princípio da seleção natural. *Filosofia e História da Biologia*, **4**: 209-233, 2009.
- CARVALHO, Ana Maria Pessoa de; VANNUCCHI, Andréa Infan-  
tosi History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to  
“How?”, *Science & Education*, **9** (5): 427-448, 2000.
- DECI, Edward L.; RYAN, Richard M. *Intrinsic motivation and self-  
determination in human behavior*. New York: Plenum, 1985.
- DECI, Edward L.; KOESTNER, Richard; RYAN, Richard M. Ex-  
trinsic rewards and intrinsic motivation in education: Reconsid-  
ered once again. *Review of Educational Research*, **71**: 1-27, 2001.
- DOMINGUES, Angela. Viagens e viajantes europeus e descrições do  
Brasil: a correspondência de Leopoldina e o paradisíaco Brasil. Pp.  
251-263, *in*: KURY, Lorelai B.; GESTEIRA, Heloisa (orgs). *Ensaio-  
s de História das Ciências no Brasil: das Luzes à nação independente*. Rio  
de Janeiro: EdUERJ, 2012.
- FICHMAN, Martin. *An elusive Victorian: the evolution of Alfred Russel  
Wallace*. Chicago/London: The University of Chicago Press, 2004.
- GERBI, Antonello. *O Novo Mundo: história de uma polêmica (1750-1900)*.  
Tradução Bernardo Joffily. São Paulo: Companhia das Letras,  
1996.
- GREEN, Susan K. Using an expectancy-value approach to examine  
teachers’ motivational strategies. *Teaching and Teacher Education*, **18**:  
989–1005, 2002.
- HENGEVELD, Kees; MACKENZIE, J. Lachlan. *Functional Discourse  
Grammar*. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- HODSON, Derek. Philosophy of science, science and science educa-  
tion. *Studies in Science Education*, **12**: 25-57, 1985.
- . *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods,  
History, Traditions and Values*. Rotterdam/Boston/Taipei: Sense  
Publishers, 2009.
- KNIGHT, David Marcus. Travels and science in Brazil. *História,  
Ciências, Saúde – Manguinhos*, **8**: 809-822, 2001.

- KURY, Lorelai. Viajantes-naturalistas no Brasil oitocentista: experiência, relato e imagem. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, **8**: 863-880, 2001.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A História da Ciência e o ensino da Biologia. *Ciência & Ensino*, **5**: 18-21, 1998.
- MARTINS, Luciana de Lima. *O Rio de Janeiro dos Viajantes: o olhar britânico (1800-1850)*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.
- MARTINS, Roberto A. Sobre o papel da História da Ciência no Ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, **9**: 3-7, 1990.
- MATTHEWS, Michael R. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge. New York/London, 1994.
- MEYER, Debra K.; TURNER, Juliane C. Re-conceptualizing Emotion and Motivation to learn in classroom contexts. *Educational Psychological Review*, **18**: 377-390, 2006.
- MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro; GASPAR, Alberto. Um estudo sobre as emoções no contexto das interações em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, **12** (1): 71-84, 2007.
- MOREIRA, Ildeu de Castro. O escravo do naturalista: o papel do conhecimento nativo nas viagens científicas do século 19. *Revista Ciência Hoje*, **31** (184): 40-48, 2002.
- MOREIRA LEITE, Miriam L. Naturalistas Viajantes. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, **1** (2): 7-19, 1995.
- PAPAVERO, Nelson. *Essays on the history of neotropical dipterology, with special reference to collectors (1750-1905)*. Vol. 1. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, 1971.
- PEDUZZI, Luiz Oliveira Queiroz. Sobre a utilização didática da História da Ciência. Pp. 151-170, *in*: PIETROCOLA, Maurício (ed.) *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- PINTRICH, Paul Robert; SCHUNK, Dale H. *Motivation in education: Theory, research and applications*. Englewood Cliffs, NY: Prentice Hall, 1996.
- POZO, Juan Ignacio; GÓMEZ CRESPO, Miguel. A. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Trad. Naila Freitas. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- PRESTES, Maria Elice B. *A investigação da natureza no Brasil-Colônia*. São Paulo: Annablume/Fapesp, 2000.

- PRESTES, Maria Elice B.; CALDEIRA, Ana Maria de A. Introdução: a importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, **4**: 1-16, 2009.
- RABY, Peter. *Alfred Russel Wallace: A life*. New Jersey: Princeton University Press, 2001.
- RAGAZZO, Monica de Toledo-Piza. *Peixes do Rio Negro*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/Imprensa Oficial do Estado, 2002.
- RANDLER, Christoph; HUMMEL, Eberhard; GLÄSER-ZIKUDA, Michaela; VOLLMER, Christian; BOGNER, Franz X.; MAYRING, Philipp. Reliability and validation of a short scale to measure situational emotions in science education. *International Journal of Environmental & Science Education*, **6**: 359-370, 2011.
- RYAN, Richard M.; DECI, Edward L. Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, **25**: 54-67, 2000.
- SILVA, Cibelle C.; MARTINS, Roberto de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, **9** (1): 53-65, 2003.
- SILVA, Tatiana T.; PRESTES, Maria Elice B.; BIZZO, Nelio M. V. History of Biology as a curricular component in teacher education in Brazil. *ISHPSSB 2015 Meeting*, Montreal, Canadá, 2015. P. 307, in: *ISHPSSB 2015 Book of Abstracts*. Montreal: ISHPSSB, 2015.
- SOUZA, Rosa Andrea Lopes de. A viagem de Alfred Russel Wallace ao Brasil: uma aplicação de história da ciência no ensino de biologia. São Paulo, 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.
- STINNER, Arthur; McMILLAN, Barbara A.; METZ, Don; JILEK, Jana M.; KLASSEN, Stephen. The renewal of case studies in science education. *Science & Education*, **12** (7): 617-643, 2003.
- TUAN, Hsiao-Lin; CHIN, Chi-Chin, SHIEH, Shyang-Horng. The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, **27**: 639-654, 2005.
- VANZOLINI, Paulo. A contribuição zoológica dos primeiros naturalistas viajantes no Brasil. *Revista USP*, **30**: 190-238, 1996.

- WALLACE, Alfred Russel. *Palm trees of the Amazon and their uses*. London: John van Voorst, Paternoster Row, 1853<sup>11</sup>.
- . *A Narrative of travels on the Amazon and Rio Negro, with an account of the native tribes, and observations on the climate, geology, and natural history of the Amazon valley*. 2 ed. London/New York/Melbourne: Ward, Lock and CO., 1889<sup>12</sup>.
- . *My life: A record of events and opinions*. Vol. 1. London: Chapman & Hall, 1905.
- . *Viagens pelos Rios Amazonas e Negro* [1889]. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

**Data de submissão:** 11/09/2015

**Aprovado para publicação:** 12/12/2015

---

<sup>11</sup> Disponível em: <http://www.archive.org/details/palmtreesofamazo00wall>.

<sup>12</sup> Disponível em: <http://www.archive.org/details/narrativeoftrave00wall>

## As críticas de Ernst Haeckel à doutrina celular

Wilson Antonio Frezzatti Jr. \*

**Resumo:** Este trabalho investiga as críticas que Haeckel faz ao que chama doutrina celular, originada dos trabalhos de Matthias Schleiden e Theodor Schwann e de sua Teoria Celular. Haeckel opõe à concepção de célula enquanto elemento fundamental da vida sua própria noção de desenvolvimento (*Entwicklung*), e entende que a diferenciação do núcleo e do corpo celulares corresponde a uma divisão de trabalho entre reprodução e nutrição. O biólogo alemão considera essa diferenciação funcional a mais importante do processo de desenvolvimento biológico. O objetivo desta investigação é mostrar que, apesar de algumas indicações em contrário, os processos de nutrição e reprodução no pensamento de Haeckel não são a característica essencial da sua concepção mecanicista de vida. O acoplamento indissociável entre as reações químicas de redução (assimilação de matéria) e oxidação (gasto de matéria) é o fundamento do processo vital para o biólogo alemão. Discutiremos também uma possível influência do filósofo inglês Herbert Spencer sobre as ideias de Haeckel aqui expostas.

**Palavras-chave:** história da evolução; teoria celular; mecanicismo na biologia; Haeckel, Ernst; Spencer, Herbert

### Ernst Haeckel's Criticism of the Cell Doctrine

**Abstract:** This article examines the Haeckel's criticism of the cell doctrine originated from the work of Matthias Schleiden and Theodor Schwann, and their Cell Theory. Haeckel opposes the concept of cell as the fundamental element of life with his own notion of development (*Entwicklung*), and he considers that the differentiation between the cell nucleus and the cell body corresponds to a division of labor between reproduction and nutrition. The

---

\* Cursos de Graduação e Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado) em Filosofia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Toledo. Grupo de pesquisa "Filosofia, Ciência e Natureza na Alemanha do século XIX", UNIOESTE; Grupo de Estudos Nietzsche, USP; Groupe Internationale de Recherche sur Nietzsche. Rua da Faculdade, 645, Toledo, PR, CEP 85.903-000. E-mail: wfrezzatti@uol.com.br

German biologist thinks that this functional differentiation is the most important of the process of biological development. The goal of this article is to show that, despite some indications to the contrary, nutrition and reproduction processes are not the essential characteristic of Haeckel's mechanistic conception of life. According to Haeckel, the inseparable interconnection between the chemical reactions of reduction (assimilation of matter) and oxidation (expenditure of matter) is the essence of the vital process. We will also discuss a possible influence of English philosopher Herbert Spencer on Haeckel's ideas presented here.

**Key-words:** history of evolution; cell theory; biological mechanicism; Haeckel, Ernst; Spencer, Herbert

## 1 INTRODUÇÃO

As questões principais acerca da célula, em fins dos anos 1830, eram, segundo Mayr (1998, pp. 730-733), o papel da célula no organismo e como nascem as novas células. O botânico Matthias Jacob Schleiden (1804-1881) posicionava-se contra a *Naturphilosophie* e buscava uma explicação mecanicista físico-química dos fenômenos vitais<sup>1</sup>. Para ele, dizer que uma célula provém de outra célula era defender o pré-formacionismo. Sua teoria da formação livre das células possuía um caráter epigenético<sup>2</sup>. Schleiden defendia que todas as plantas eram constituídas de células e de produtos celulares. Em *Investigações microscópicas* (1839)<sup>3</sup>, Theodor Ambrose Hubert Schwann (1810-1882) mostra que essa conclusão do botânico alemão valia também para os animais. Essa ideia deu uma grande contribuição à

---

<sup>1</sup> Além de ter estimulado Theodor Schwann à citologia, formou vários botânicos iminentes, como Wilhelm Friedrich Benedikt Hofmeister (1824-1877) e Karl Wilhelm von Naegeli (1817-1891), e incentivou Carl Zeiss (1816-1888) a fundar sua empresa de instrumentos ópticos.

<sup>2</sup> A primeira etapa de formação da célula seria a produção de um núcleo por cristalização de matéria granular dos componentes celulares. Ao crescer, esse núcleo formaria uma nova célula ao seu redor. Essa teoria da formação livre das células é descrita em *Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik* (Elementos de botânica científica, 1842).

<sup>3</sup> O título completo do livro é *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen* (Investigações microscópicas da conformidade da estrutura e do crescimento de animais e plantas). Richard Owen (1804-1892), de forma independente em 1839, também mostra essa conformidade.

noção de unidade da vida e ao processo de estabelecimento da Biologia enquanto disciplina científica. Nos trabalhos originais de Schleiden e Schwann, a célula era, antes de mais nada, um elemento estrutural, e outros autores, como, por exemplo, Ernst Wilhelm von Brücke (1819-1892), a consideraram um organismo elementar análogo à protofolha de Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), ou seja, possuíam uma visão morfológica idealista<sup>4</sup>.

Não discutiremos neste trabalho as questões conceituais da história da citologia e seus desdobramentos. Como nosso problema principal é a concepção de vida de Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834-1919), não abordaremos diretamente as teorias de Schleiden e Schwann e de outros citologistas. Interessa-nos apenas a interpretação de Haeckel da Teoria Celular (*Zellentheorie*) – considerada por ele “a teoria dominante em toda a biologia atualmente” (Haeckel, 1866, v. I, p. 270). Certamente, ele não critica somente as próprias teorias do botânico e do zoólogo, mas também – e talvez principalmente – os seus desdobramentos posteriores<sup>5</sup>. No texto de

---

<sup>4</sup> Brücke, em *Die Elementarorganismen* (Os organismos elementares, 1861). O botânico neokantiano Julius Wilhelm Albert Wigand (1812-1886), professor em Marburg e considerado último representante da escola botânica de Schleiden, chamou, em 1861, a célula a *eigentliche Urpflanze* (verdadeira planta primordial) (Mayr, 1998, p. 732). Os arquétipos de Goethe não são apenas planos ideais, um tipo primordial (*Urtypus*) que inclui todas as formas possíveis, mas são também causas dinâmicas do desenvolvimento em cada reino animal e vegetal (Richards, 2002, p. 456). É por intuição que podemos encontrar a forma primordial, a planta primordial, e não por dedução, intuição que se dá a partir das transformações sensíveis e visíveis (Molder, 1995, pp. 211-214). Goethe afirma em *Die Metamorphose der Pflanzen* (A metamorfose das plantas, 1790), § 4: “A afinidade secreta entre as várias partes externas das plantas, tais como folhas, cálice, corola e estames, as quais se desenvolvem uma após a outra e como uma da outra, há muito é reconhecida, de forma geral, pelos naturalistas; na verdade, tem sido dada muita atenção a esse estudo. O processo pelo qual um e mesmo órgão apresenta-se ele mesmo a nós em formas múltiplas tem sido chamado a *metamorfose das plantas*” (Goethe [1790], 2004, loc. 404). As traduções dos excertos de Goethe, Haeckel e Bowler são de nossa responsabilidade.

<sup>5</sup> Haeckel parece reservar o termo teoria celular (*Zellentheorie* ou *Theorie der Zellen*) para as ideias de Schleiden e Schwann, e o termo doutrina celular (*Zellenlehre*), para o desenvolvimento posterior dessa teoria (conforme, por exemplo, Haeckel, 1866, v. I, pp. 161, 248, 270-271 e 280-281 e v. II, p. 112). O biólogo alemão faz um curto histórico do desenvolvimento da teoria celular em Haeckel, 1866, v. I, pp. 270-274,

1904, *As maravilhas da vida*, Schleiden e Schwann nem são citados. Para Haeckel, “a moderna doutrina celular [*Zellenlehre*] está em contradição [*Widerspruch*] com o importante princípio” (Haeckel [1904], 1924, p. 215) da anatomia comparada: explicar a estrutura dos organismos superiores através da estrutura dos organismos mais simples, dos quais os primeiros descendem. De qualquer forma, parece que, para Haeckel, a essência do processo vital estava nas reações do plasma, a substância química viva, e não na célula.

Tendo como fio condutor as críticas que Haeckel dispara contra a doutrina celular, teremos de modo claro a sua própria concepção de desenvolvimento (*Entwicklung*)<sup>6</sup>, além de explicitar como o biólogo alemão pensa o caráter fundamental da vida e o papel das funções de nutrição e reprodução. Os aspectos levantados nessa discussão nos permitirão fazer algumas considerações acerca de uma possível influência do filósofo inglês Herbert Spencer (1820-1903) sobre Haeckel.

## 2 A NOÇÃO DE VIDA DE HAECKEL: O PAPEL DA NUTRIÇÃO E DA REPRODUÇÃO

Haeckel, em *Die Lebenswunder: Gemeinverständliche Studien über biologische Philosophie* (As maravilhas da vida: Estudos sobre filosofia biológica ao alcance de todos) de 1904, considera que não é fácil conseguir uma distinção clara e definida entre o vivo e o não vivo. O biólogo alemão utiliza o termo “organismo” (*Organismus*) como equivalente ao de “ser vivo” (*Lebewesen*) ou “corpo natural vivo” (*lebendigen Naturkörper*), e sua concepção é mecanicista de perspectiva química: o organismo é uma máquina, mas no sentido de um laboratório químico. A grande diferença entre os seres vivos ou organismos e os corpos inorgânicos ou anórganos (*Anorganen*) é que os primeiros apresentam movimentos particulares, que se repetem periodicamente e parecem espontâneos. A vida, portanto, é um fenômeno particular do

---

dando destaque à determinação das partes fundamentais da célula e ao questionamento da existência de membrana em todas as células.

<sup>6</sup> Para evitar anacronismos, traduziremos o termo *Entwicklung* por desenvolvimento e não por evolução.

movimento. O plasma (*das Plasma*) é a substância química viva, e seu movimento fundamental é a troca de substâncias. Assim:

O conteúdo do conceito de organismo é, portanto, nesse sentido, fisiológico e é essencialmente [*wesentlich*] determinado pela atividade visível dos corpos, pelo metabolismo, pela nutrição [*Ernährung*] e pela reprodução [*Fortpflanzung*]. (Haeckel [1904], 1924, p. 36)

Por ser um conceito fisiológico, Haeckel pode considerar até mesmo os seres unicelulares como organismos, porque eles são formas organizadas do plasma. Ao afirmar que o conceito é determinado pela atividade visível dos corpos, o biólogo parece nos indicar que a nutrição e a reprodução são essenciais para o processo vital.

A distinção entre o vivo e o não vivo, contudo, não é definida. Os propositores da Teoria Celular, Matthias Schleiden e Theodor Schwann, já haviam feito comparações da célula com os cristais: o cristal também cresce, e, segundo Karl Ernst von Baer (1792-1876), o crescimento (*Wachstum*) é a característica mais importante do desenvolvimento individual. Embora os cristais cresçam por aposição (*Apposition*), isto é, por adição de substância à superfície externa, e as células por intussuscepção (*Intussuszeption*), isto é, por absorção (*Aufnahme*) de substância pelo interior, Haeckel não considera essa diferença essencial, já que ela é explicada por diferentes graus de agregação da matéria.

Os processos de nutrição e reprodução estão estreitamente ligados por meio da noção de crescimento. Como nos cristais, o crescimento das células tem um limite. Se esse crescimento é ultrapassado, ocorre um crescimento suplementar ou transgressivo que nos organismos chama-se reprodução e nos cristais, multiplicação (*Vermehrung*). A comparação do crescimento dos cristais e dos seres unicelulares é muito importante, porque remete a propriedade vital da reprodução a condições puramente físico-químicas. A divisão (*Zerfall*) do indivíduo em crescimento deve necessariamente ocorrer quando o limite do tamanho é ultrapassado, ou seja, quando a constituição química do corpo e a coesão de suas moléculas não permitem mais a adição de substâncias. Portanto, a reprodução é uma consequência da nutrição, a primeira ocorre quando esta atinge um limite determinado.

Considerar tanto a nutrição como a reprodução como crescimento reduz essas duas funções às reações de troca de substâncias entre o

ser vivo e o ambiente, ou seja, ao metabolismo (*Stoffwechsel*). O que faz com que Haeckel deixe indeterminada a distinção entre vida e o não vivo, pois essas funções são também características dos seres inorgânicos. Não há, para Haeckel, do ponto de vista morfológico e nem na maioria das propriedades fisiológicas (incluindo também a sensibilidade), diferenças fundamentais entre os organismos e os anôrganos. Assim, parece-nos que a nutrição e a reprodução não são efetivamente o fundamento da vida para Haeckel, pois elas são derivadas de algo mais geral, das reações físico-químicas dos organismos. Entretanto, há ainda outra perspectiva no pensamento haeckeliano que corrobora essa conclusão, não propriamente uma perspectiva físico-química, mas evolucionista. Os processos de nutrição e reprodução não são primordiais, mas são produtos já do desenvolvimento (*Entwicklung*) celular em seu início histórico. Isso pode ser mostrado pelas críticas que Haeckel faz à Teoria Celular originada dos trabalhos de Matthias Schleiden e Theodor Schwann.

### 3 AS CRÍTICAS DE HAECKEL À DOCTRINA CELULAR

Haeckel, desde *Generelle Morphologie der Organismen* (Morfologia geral dos organismos, 1866), combate o que chama de cinco dogmas da doutrina celular (*Zellenlehre*) (Haeckel [1904], 1924, pp. 215-223): 1) a célula nucleada é o organismo elementar: todos os seres vivos são unicelulares ou compostos de células; 2) esse organismo elementar possui ao menos dois órgãos distintos: o núcleo e o corpo celular; 3) o citoplasma e o carioplasma não são homogêneos, mas organizados, formados por estruturas anatômicas e químicas distintas; 4) o protoplasma é um conceito metafísico e não químico; e 5) toda célula nasce de uma célula, todo núcleo provém de um núcleo (“*Omnis cellula e cellula – Omnis nucleus e nucleo*”)<sup>7</sup>. Segundo o biólogo alemão, esses

---

<sup>7</sup> O axioma “*Omnis cellula e cellula*” foi assentado por Rudolf Ludwig Carl Virchow (1821-1902) (*Handbuch der speziellen Pathologie und Therapie*, 1854-1862), que considerava a teoria de formação de células de Schleiden tributária da geração espontânea. Alguns autores indicam que o verdadeiro criador do axioma seria o químico e naturalista francês François-Vincent Raspail (1794-1878), em 1825, sendo que Virchow seria responsável por sua difusão (Bechtel, 2006, p. 72). A frase é a transposição para a citologia da famosa afirmação de Francesco Redi (1626-1697) contra a geração es-

dogmas são incompatíveis com a teoria do desenvolvimento (*Entwickelungstheorie*).

Em *Morfologia geral*, Haeckel dá exemplos de organismos que não seguem o que ele chamou de primeiro dogma: “encontramo-nos, ao apresentar a célula como indivíduo mais independente e absoluto, diante de dificuldades insuperáveis que impedem uma generalização dessa concepção” (Haeckel, 1866, v. I, p. 248). Ainda afirma:

As células são ou os próprios organismos inteiros (ovos de plantas e animais, plantas unicelulares, etc.) ou elas são indivíduos que, através de sua união, constituem todo o organismo, como uma sociedade ou estado de células.

É essa concepção, que foi introduzida por Schleiden e Schwann na ciência, e que é designada geralmente por eles de “teoria celular” [*Zellentheorie*], atualmente a teoria dominante em toda a biologia. Tal teoria é muito correta, sem dúvida, a grosso modo, e temos que reconhecê-la bastante como a única legítima para a grande maioria dos organismos, contudo ainda não é possível estendê-la a todos os organismos sem exceção. (Haeckel, 1866, v. I, p. 270)

Há, segundo o biólogo alemão, organismos inferiores que não são compostos por células e nem correspondem à totalidade de uma única célula. Ainda, haveria outros elementos além das células que comporiam os seres vivos. Em outras palavras, não são todos os organismos que correspondem à noção de individualidade e unidade última da teoria celular.

Outros botânicos, como Pierre Jean François Turpin (1775-1840), Friedrich Traugott Kützing (1807-1893) e Karl von Naegeli, considerariam outros elementos de composição das plantas além das células. Segundo Haeckel:

Não se põe em dúvida que, ainda, essa concepção<sup>8</sup> tenha suas razões. A célula mesma pode ser considerada, de fato, como um organismo independente, e aparece como tal, por sua vez, composta por órgãos,

---

pontânea: “*Omne vivum ex vivo*”.

<sup>8</sup> Haeckel refere-se à concepção de Naegeli de que as células vegetais de organismos complexos são compostas por partes individuais, por exemplo, grãos de amidos e outras coisas semelhantes.

por diversas partes que cooperam na existência do todo. (Haeckel, 1866, v. I, p. 249)

A célula, portanto, já seria um indivíduo de segunda ordem.

O dogma *Omnis cellula e cellula* também não corresponde à realidade empírica, pois, segundo Haeckel, partes desagregadas e isoladas de certas células podem dar origem a novas células, como é o caso das algas do gênero *Bryopsis*:

Entre as plantas unicelulares do grupo das algas Siphoneae, existem espécies (*Bryopsis*, etc.) em que o corpo unicelular mostra um crescimento quase ilimitado, um tronco constituído por muitos ramos e galhos, e por uma desagregada massa de partes periféricas de limites indeterminados, sendo que qualquer uma é capaz, imediatamente após a sua separação da célula, dar forma novamente a um indivíduo celular. (Haeckel, 1866, v. I, pp. 248-249)

O protoplasma, para Haeckel, é o plasma ainda não diferenciado. Ele propõe que a tarefa fundamental da biologia é descobrir a composição química, ou seja, a molécula que compõe o plasma (Haeckel [1904], 1924, pp. 141-145). A noção de plasma é de ordem química, e ele não é nem uma multidão (*Gemenge*) de substâncias diferentes e nem uma mistura<sup>9</sup>. O que caracteriza uma mistura, segundo Haeckel, é a indiferença de uma substância pela outra, o que não ocorre no plasma. Pensá-lo como mistura é pensá-lo como um conceito estrutural: na verdade, as relações estruturais são secundárias e não primárias. Quimicamente, o plasma (a matéria viva) é uma combinação nitrogenada de carbono em estado semifluido (coloidal), e, em cada caso, tem uma composição química específica. O plasma ainda não diferenciado é uma substância semifluida e quimicamente homogênea, não tem uma estrutura anatômica: nesse caso, temos o arquiplasma (*Archiplasma* ou *Primärplasma*), mas o que temos acesso na pesquisa empírica é o metaplasma (*Metaplasma* ou *Sekundärplasma*), o plasma diferenciado e modificado pelo próprio processo vital<sup>10</sup>. Os

---

<sup>9</sup> Essas noções são defendidas pelo embriologista alemão Wilhelm August Oscar Hertwig (1849-1922), discípulo do próprio Haeckel.

<sup>10</sup> Haeckel acredita que podemos encontrar o arquiplasma nos corpos de quase todas as moneras, em parte das bactérias, nos jovens protistas e nas jovens células histonais

pesquisadores que investigam as estruturas celulares como causas do processo vital estão enganados: as estruturas plasmáticas, as espumas (*Waben*), os fios (*Faden*) e as granulações (*Körnchen*) não são estruturas primárias, mas secundárias, são produtos filogenéticos de numerosas diferenciações progressivas por milhões de anos do plasma originalmente homogêneo e sem estruturas (Haeckel [1904], 1924, pp. 145-147). A doutrina celular, ao desconsiderar o desenvolvimento, o papel químico e funcional do plasma, transforma-o numa noção metafísica.

A célula nucleada não é o organismo primitivo para a teoria do desenvolvimento, senão o seu aparecimento seria um verdadeiro milagre. A célula nucleada deve ser produto de um organismo elementar, das moneras (organismos pré-celulares), cujo protoplasma deve ser homogêneo. Há uma enorme diferença entre as moneras sem núcleo e as células nucleadas, pois surge nestas uma divisão de trabalho (*Arbeitsteilung*) que se aprofunda com o desenvolvimento das células, tecidos e órgãos<sup>11</sup>. A organização é uma consequência do fenômeno vital e não sua causa, ela é consequência das propriedades físico-químicas da matéria. O corpo, na maioria dos organismos, é formado por várias partes, as partes são os órgãos e o modo de ligação é a organização. A diferença entre uma monera e um organismo é maior do que entre a monera e o cristal, diferença que também é grande entre as moneras sem núcleo e as células nucleadas. Haeckel considera que há uma oposição (*Gegensatz*) entre as duas organelas ou órgãos celulares (*Zellorganen*): o núcleo ou carioplasma responsável pela reprodução e hereditariedade (*Vererbung*) e o corpo celular responsável pelo metabolismo, nutrição e adaptação (*Anpassung*) (Haeckel [1904], 1924, pp. 42-43).

A diferenciação estrutural foi causada por uma diferenciação química, embora a composição química do núcleo e do corpo celular sejam muito semelhantes. A produção da célula nucleada, o processo

---

(que compõem tecidos, mas já com diferenciação entre carioplasma e citoplasma) (Haeckel [1904], 1924, pp. 146-147).

<sup>11</sup> A finalidade ou conformidade a fins (*Zweckmässigkeit*) aparente dessa divisão de trabalho na complexidade crescente dos organismos foi, segundo Haeckel ([1904], 1924, p. 43), explicada mecanicamente pela teoria da seleção (*Selektionstheorie*) de Charles Robert Darwin (1809-1882).

mais importante da história da linhagem do plasma (matéria viva), não ocorreu por uma variação brusca ou mutação (*Mutation*), mas por uma lenta especialização progressiva (*fortschreitende Ausbildung*) (Haeckel [1904], 1924, pp. 156-158): a célula primordial (*Urzelle* ou *Zytode*) produziu a célula nucleada (*Kernzelle* ou *Cytos*) por acúmulo de material hereditário, isto é, das qualidades adquiridas pelos ancestrais e transmitidas por hereditariedade aos descendentes do plástidio (célula primitiva). As funções de hereditariedade (núcleo) e de adaptação às condições externas (corpo celular) são realizadas na célula primitiva pela matéria homogênea do plasma. Assim, os processos de reprodução e de nutrição fazem parte de uma divisão de trabalho primordial no desenvolvimento biológico.

Na sequência da história filogenética, o carioplasma e o citoplasma também acabam sofrendo modificações químicas, o que resulta no aparecimento de novas estruturas. Para o núcleo: nucléolo, centrosoma, membrana nuclear (carioteca). No caso do citoplasma, Haeckel parece desprezar as organelas (ou seja, as modificações estruturais), privilegiando as modificações químicas do citoplasma, originando funções especiais e aprofundando a divisão do trabalho: mioplastos (tecido contrátil), neuroplastos (tecido nervoso), etc. Há também produtos plasmáticos externos, como a membrana celular, a cutícula e as substâncias intercelulares. Além de considerar a membrana como um produto de excreção ou um efeito físico-químico do meio (tensão superficial), Haeckel acreditava que ela não existia em todas as células (Haeckel [1904], 1924, pp. 158-165).

#### **4 O FUNDAMENTO QUÍMICO DA VIDA EM HAECKEL E A CONSEQUENTE PRIMAZIA DA FUNÇÃO SOBRE A ESTRUTURA**

O único fenômeno presente em todas as cianobactérias (seres muito simples não nucleados), e, portanto, fundamental ou essencial, é o crescimento provocado pela plasmodomia (assimilação de carbono)<sup>12</sup>, processo químico comparável à catálise das substâncias orgâni-

---

<sup>12</sup> Assimilação de carbono, no original *Kohlenstoffassimilation*, ou plasmodomia, do grego *dome* (estrutura), relacionado ao verbo que significa construir.

cas. A reprodução é apenas a continuação desse fenômeno de crescimento, ocorrendo quando o tamanho individual chega a um limite. A esse processo de assimilação (redução) está associado, nos seres vivos, um processo de consumo desse carbono (oxidação) que é utilizado para sustentar as atividades vitais. A vida, em sua forma mais simples, nada mais é que troca de substâncias ou metabolismo (*Stoff-Wechsel*), ou seja, um processo puramente químico de oxirredução (Haeckel [1904], 1924, pp. 147-149). Esses organismos primitivos esgotam toda sua atividade na conservação: modificam a substância simples até atingir o tamanho máximo e se dividem, conservando a espécie. Não possuem organelas, ou seja, sua atividade não é diferenciada em funções particulares. Mas, destacamos nós, as cianobactérias são capazes de nutrição (assimilação de substâncias) e de reprodução.

Assim, já que os cristais também crescem e, de certo modo, se reproduzem, o que caracteriza a vida é o ciclo contínuo de assimilação e desassimilação de carbono. Ao descrever as propriedades dos seres mais simples que podia encontrar, Haeckel reafirma o caráter químico da vida.

Essa fundamentação química da vida tem uma importante consequência: a primazia, no pensamento de Haeckel, da função sobre a estrutura. Um aspecto importante da crítica que Haeckel faz contra a doutrina celular, e isso incide também sobre os trabalhos de Schleiden e Schwann, é que um elemento estrutural não pode ser o fundamento da vida. As funções especializadas que surgem são produtos da divisão de trabalho que ocorre no processo de desenvolvimento das reações químicas integradas de assimilação e consumo. As estruturas são secundárias e apenas suportes para essas reações. Um órgão nada mais é do que uma parte do organismo adaptada a uma função específica. Assim, ao contrário de muitos contemporâneos, Haeckel não considera a célula como a unidade vital básica.

No entanto, a célula, para ele, é a base anatômica (estrutural) para todos os seres vivos, e coopera com a vida global do organismo (Haeckel [1904], 1924, pp. 166-191). Ela é o primeiro grau de individualidade orgânica, os outros dois graus são o indivíduo e a colônia. Cada unidade superior constitui uma sociedade de unidades inferiores, sendo que estas são morfológicamente independentes, mas não fisiologicamente. Quanto mais perfeita é a divisão do trabalho no indiví-

duo, maior é a dependência fisiológica. As partes de um organismo são mais dependentes uma das outras quanto mais o organismo é diferenciado e centralizado. Da mesma forma, quanto mais um estado civilizado é desenvolvido, mais os indivíduos são dependentes uns dos outros. O desenvolvimento pensado por Haeckel, apresentado em linhas gerais, é o seguinte: a) organismos simples no sentido morfológico e fisiológico, ou seja, na estrutura e na função: seres unicelulares (Protistas); b) animais e plantas com tecidos (*Histonen*): fisiologicamente são unidades, mas morfológicamente são constituídos por várias células. Esses seres são chamados de rebentos ou brotos (*Sprosse*) no caso das plantas e de pessoas (*Personen*) no caso dos animais; c) Colônia (*Cormus*): conjunto de brotos ou pessoas que podem ser fixas, como os corais, ou comunidades livres, como as abelhas e as formigas. Estas últimas são semelhantes ao Estado humano (Haeckel [1904], 1924, pp. 43-44).

## 5 HERBERT SPENCER: INFLUÊNCIA SOBRE HAECKEL?

Herbert Spencer, no segundo volume de *The Principles of Biology* (Princípios de Biologia, 1867a), § 180, igualmente a Haeckel, é crítico da doutrina celular (*cell-doctrine*) e acredita que a hipótese da evolução (*evolution*)<sup>13</sup> introduz importantes correções nessa teoria. Se a formação de organismos mais simples precedeu a formação de organismos mais complexos, partes do protoplasma sem estrutura devem ter precedido as células no processo geral da evolução e alguns tecidos podem ter sido formados por transformação direta do blastema (aglomerado orgânico não diferenciado em células) e não por agregação celular (Spencer, 1867a, pp. 12-13). Para o filósofo inglês, a célula só pode ser considerada unidade morfológica em um sentido muito

---

<sup>13</sup> Herbert Spencer, um dos filósofos mais lidos do século XIX, fixou o uso que temos hoje do termo “evolução” (*evolution*) (Bowler, 2003, p. 8), significando o desenvolvimento natural da vida na Terra, com a conotação de um necessário progresso a estados superiores. Apesar disso, ele próprio não estava satisfeito com a opção escolhida. Em *First Principles* § 97, Spencer assevera que há problemas com a palavra *evolution*, pois ela teria outros significados, alguns mesmo opostos ao pretendido (Spencer, 1867b, pp. 285-286).

específico. Obviamente, a influência que achamos ser possível não está na simples crítica à teoria ou doutrina celular, já que o livro de Spencer acima citado foi publicado um ano após a *Morfologia geral* de Haeckel. Além disso, o filósofo inglês cita sua fonte: um artigo de Thomas Henry Huxley (1825-1895) na *Medico-Chirurgical Review* de 1853. Referimo-nos às principais ideias que suportam essa crítica, principalmente a primazia da função sobre a estrutura em um contexto de diferenciação e especialização causada por processos evolutivos, presentes em livros anteriores do inglês, como o primeiro volume de *Princípios de Biologia* (1864) e a primeira edição de *Primeiros princípios* (1862)<sup>14</sup>.

A função, para Spencer, é qualquer atividade vital (Spencer, 1864, pp. 153-168). Em um sentido amplo, inclui as distribuições de forças estáticas (tronco de árvore, esqueleto) e dinâmicas (folha, músculo) pelas quais o organismo se opõe às forças exercidas sobre ele. Podemos entender que as funções do organismo, embora o filósofo inglês não explicita isso, são diferenciações e especializações da nutrição que facilitam o uso de força: 1) acúmulo de força: esta função compreende os processos pelos quais os materiais que possuem força latente (os nutrientes) são separados de outros materiais, isto é, digeridos. Envolve a alimentação desde a apreensão do nutriente até sua transformação em sangue e a aeração (respiração); 2) transferência de força das partes que acumulam para as partes que gastam: processos que transportam os nutrientes pelo organismo (circulação); e 3) gasto de força: processos pelos quais as forças são liberadas dos nutrientes e são transformadas em movimento coordenado (ação muscular e nervosa). Os animais inferiores não possuem partes separadas que realizam essas funções, todas suas partes são acumuladoras, gastadoras e transportadoras de força. A primeira diferenciação e especialização que ocorre no progresso das espécies é a separação das duas funções fundamentalmente opostas: o acúmulo de força e o gasto de força.

---

<sup>14</sup> Há outras possíveis influências que não discutiremos aqui, como, por exemplo, a importância da assimilação de nutrientes, o progresso como um caráter necessário do próprio movimento da matéria e das forças e o uso de uma metodologia baseada na indução e dedução.

Aqui Spencer aplica a noção de divisão fisiológica do trabalho: o progresso (a evolução progressiva) vai das ações simples, gerais e indefinidas para aquelas complexas, especiais e definidas. É um movimento de funções homogêneas para heterogêneas que é acompanhada pela mudança de estrutura. As divisões de funções não levam a uma completa independência entre elas: por um processo simultâneo, elas tornam-se mais mutuamente dependentes. Ao mesmo tempo que as funções e as estruturas se separam e se diferenciam, elas se integram. Ainda que seja difícil separar estrutura e função, o filósofo inglês, igualmente a Haeckel, pensa que a função precede a estrutura. Como prova *a priori* (não empírica), Spencer aponta que o processo vital move-se de um estado homogêneo e desestruturado para um estado heterogêneo e estruturado, portanto a atividade vital existia antes de haver alguma estrutura. E mais: se a vida é constituída por ações internas ajustadas para balancear ações externas, e se as ações são o conteúdo da vida e o ajuste (*adjustment*) ou a adaptação é a sua forma, Spencer conclui que a mudança contínua deve ocorrer antes da estrutura que dá formato à função – a ação a ser formada deve vir antes daquilo que a forma. A função é a causa determinante da estrutura: cada progresso vital é efeito de um melhor ajuste das ações internas às externas, e a nova complexidade da estrutura é simplesmente um modo de tornar possível esse melhor ajuste<sup>15</sup>.

A forma de cada espécie de organismo é determinada pela peculiaridade na constituição de suas partes, ou seja, os organismos têm uma estrutura especial na qual eles tendem a arranjar a si próprios, como um sal na forma de seu cristal. Essa propensão ocorreria tanto para reproduzir a forma inteira como para completá-la, se imperfeita. Na falta de um termo adequado para essa propriedade, Spencer sugere a palavra “polaridade” (*polarity*), que designa a força pela qual as unidades inorgânicas se agregam (Spencer, 1864, p. 181; Spencer, 1867b, pp. 465-466, 468-470 e 480).

Ao comparar aqui a relação entre estrutura e função oriunda dos dois autores, uma importante diferença se destaca: enquanto Haeckel

---

<sup>15</sup> Entretanto, a complexidade da função é correlativa à complexidade da estrutura: se não há distinção de estrutura, não há distinção de função. Sobre a inseparabilidade entre função e estrutura (Spencer, 1867a, pp. 221-223).

baseia-se nas reações químicas para caracterizar o processo vital, Spencer lança mão da interação entre forças. Ao perguntar quais seriam as unidades responsáveis pelo incremento específico de matéria e, em última instância, pelo aproveitamento seletivo de nutrientes, Spencer rejeita que unidades químicas, ou seja, a matéria química viva (a albumina), apenas por suas propriedades químicas, possam criar essa especificidade. Rejeição que também atinge as células (unidades morfológicas), pois há seres vivos que não possuem células, mas suas partes se agregam de modo específico. A resposta spenceriana é a unidade fisiológica: embora seja um arranjo químico extremamente complexo, o fundamental está na ligeira diferença em seu jogo de forças, que produz diferenças funcionais e, em consequência, estruturais (Spencer, 1864, pp. 169-183).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em Haeckel, mas também em Spencer, a nutrição, nos seres vivos mais primitivos e, portanto, sem estruturas diferenciadas, é fundamentalmente um processo de assimilação de matéria. Ainda assim, esse processo está sempre integrado com um movimento antagonista: o gasto de matéria ou a desassimilação. Entretanto, esses processos, como não poderia deixar de ocorrer em teorias mecanicistas, estão fundamentados em elementos primeiros que se remetem, de algum modo, à matéria e ao movimento, que constituem a essência de toda a natureza orgânica e inorgânica. Movimento que também é um processo de diferenciação e complexificação de funções e estruturas. Por isso, Haeckel e Spencer não podem aceitar a célula nucleada, um produto do desenvolvimento, como unidade fundamental da vida.

Possíveis influências de Spencer sobre Haeckel não são apontadas pelos historiadores da biologia. Lenoir, em *The Strategy of Life* (A estratégia da vida, 1982), embora trate de temas como morfologia do desenvolvimento, morfologia funcional, teleomecanicismo e materialismo vitalista na Alemanha do século XIX, não cita Spencer uma única vez.

O filósofo inglês não é investigado profundamente em *Evolution: the History of an Idea* (Evolução: a história de uma ideia, 1983), de Bowler, aparecendo quase sempre associado ao lamarckismo, ao darwinismo social e à livre iniciativa econômica. Bowler (1992, pp. 67-

72) faz algumas considerações sobre Haeckel e Spencer, em *The Eclipse of Darwinism* (O eclipse do darwinismo, 1983), ao abordar as origens do lamarckismo. O autor afirma que:

Tanto na Alemanha quanto na Grã-Bretanha, as principais linhas de suporte para o lamarckismo originaram-se de uma visão mais larga da filosofia da evolução. As diferenças entre as perspectivas de Ernst Haeckel e Herbert Spencer são bastante óbvias, mas há também algumas similaridades notáveis que se originam do apoio comum à herança dos caracteres adquiridos como um acréscimo à seleção. Ambos veem o efeito lamarckiano como desempenhando um papel significativo no processo de evolução universal, cujas tendências básicas eram para o progresso e para a diversidade de forma. Ambos esforçaram-se muito em teorias especulativas da hereditariedade baseadas no pressuposto que forças desconhecidas permitiam a matéria orgânica absorver impressões de seu meio. (Bowler, 1992, p. 67)<sup>16</sup>

Não concordamos com Bowler quando ele afirma que as semelhanças entre o biólogo e o filósofo estão principalmente na concordância com a transmissão dos caracteres adquiridos: há muito mais do que isso.

Em *The Tragical Sense of Life: Ernst Haeckel and the Struggle over Evolutionary Thought* (O sentido trágico da vida: Ernst Haeckel e a luta sobre o pensamento evolucionista, 2008), de Robert Richards, Spencer aparece rapidamente em temas acerca da crença em Deus e em um histórico geral do pensamento evolucionista no século XIX (Richards, 2008, pp. 128 e 227). Para nós, como mostramos acima, há indícios que noções spencerianas aparecem nas argumentações haeckelianas.

O aprofundamento no estudo das noções dos dois autores permitirá uma visão mais clara desse aspecto. Não podemos descartar uma influência comum por outros biólogos e autores ou ainda desenvol-

---

<sup>16</sup> Na sequência, Bowler reforça as diferenças entre Haeckel e Spencer: “É ainda difícil imaginar dois pontos de vista mais divergentes acerca das implicações da evolução para os seres humanos. Embora Spencer tenha permanecido o apóstolo do individualismo do *laissez-faire*, Haeckel promoveu uma filosofia social coletivista que tem sido vista como um estímulo à emergência posterior do nazismo” (Bowler, 1992, p. 67).

vimento paralelo de certas ideias. Desvendar essa relação significa não apenas conhecer melhor o pensamento biológico do século XIX, mas também ter mais claro a formação das correntes evolucionistas lamarckiana e neolamarckiana, apoiadas na adaptação direta e na transmissão dos caracteres adquiridos. Para Bowler (1992, p. 72), Haeckel e Spencer contribuíram independentemente para a produção do lamarckismo e seus desdobramentos:

De modos diferentes, esses dois pensadores ajudaram a estabelecer certos elementos básicos do movimento lamarckista. Os argumentos conceituais de Spencer e a ligação de Haeckel entre o lamarckismo e a teoria da recapitulação não somente formou o pensamento lamarckiano posterior, mas também definiu algumas das tensões dentro do movimento.

Se mostrarmos uma influência mais ampla do filósofo inglês sobre o biólogo alemão, podemos reafirmar a posição de Caponi (2014, p. 56), que é a seguinte: a posição axial da concepção de adaptação funcional nos dois autores permite-nos corroborar a hipótese de que Spencer foi o criador do que se convencionou chamar neolamarckismo, ele foi o primeiro neolamarckista: o correto não é dizer que a equibração direta é lamarckiana, mas que a leitura sobre Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) que acabou prevalecendo é a spenceriana.

Para Spencer, a atividade vital é essencialmente um processo evolucionário, e este se dá por meio de um mecanismo de equibração de forças. Equibração (*equilibration*) é um equilíbrio dinâmico entre as forças externas e as forças internas, responsável pela adaptação:

[...] as novas forças [incidentes externas] exercidas sobre o sistema foram compensadas por forças opostas [internas] que as primeiras despertaram [*evoked*]. E essa é a interpretação do processo que nós chamamos *adaptação* [*adaptation*]. (Spencer, 1867b, p. 501)

Nesse caso, temos o que Spencer denomina equibração direta ou adaptação direta. A seleção natural ou equibração indireta está associada à luta pela existência entre indivíduos e é fortemente dependente da equibração direta. A equibração indireta é fortuita e isolada, e não uma resposta imediata às exigências do meio, sendo responsável apenas pelas variações e não pelas transformações mais profundas

dos seres vivos (Spencer, 1864, p. 435; Caponi, 2014, pp. 55-66). E o sentido geral de neolamarckismo<sup>17</sup> é o de uma doutrina que leva em consideração tanto a transmissão dos caracteres adquiridos quanto a seleção natural: no caso de Spencer – e mesmo de Haeckel – a seleção natural é menos importante. Assim, poderíamos concluir que os fundamentos filosóficos produzidos por Spencer para a biologia estiveram mais presentes nessa ciência na Alemanha do século XIX do que podemos perceber numa primeira abordagem.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço o Professor Gustavo Caponi pela eficiente e instigante supervisão de minha pesquisa pós-doutoral na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2014-2015. Este presente trabalho representa, para mim, uma das várias descobertas propiciadas por essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECHTEL, William. *Discovering cell mechanisms: the creation of modern Cell Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- BOWLER, Peter J. *The eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian evolution theories in the decades around 1900*. Baltimore: The Johns Hopkins University, 1992.
- . *Evolution: the history of an Idea*. 3th. ed. Berkeley: University of California, 2003.
- CAPONI, Gustavo. Herbert Spencer: entre Darwin y Cuvier. *Scientiae Studia*, **12** (1): 45-71, 2014.
- GOETHE, Johann Wolfgang von. *The metamorphosis of plants*. Introduction by Rudolf Steiner. Trad. British Journal of Botany (1863),

---

<sup>17</sup> O termo neolamarckismo foi utilizado pela primeira vez pelo paleontologista e entomologista americano Alpheus String Packard (1839-1905) em 1885, no sentido de oposição ao darwinismo (Bowler, 1992, p.135). Outro significado do termo designava a ideia de escolha conscientemente dirigida das características a serem adquiridas pelos seres vivos, como defendia, por exemplo, Edward Drinker Cope (1840-1897), Piotr Alexeyevich Kropotkin (1842-1921) e John Arthur Thomson (1861-1933) (Bowler, 1992, pp. 80-81).

- revis. A. E. Marshall and H. Grotzke. Junction City: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association, 2004. (Kindle edition)
- HAECKEL, Ernst. *Generelle Morphologie der Organismen: Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch Begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*. Berlin: Georg reimer, 1866. 2 v.
- . *Die Lebenswunder: Gemeinverständliche Studien über biologische Philosophie* [1904]. Leipzig / Berlin: Alfred Kröner Verlag / Carl Henschel Verlag, 1924.
- LENOIR, Timothy. *The strategy of life: teleology and mechanics in Nineteenth century German Biology*. Dordrecht: D. Reidel, 1982.
- MAYR, Ernst. *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Trad. de I. Martinazzo. Brasília: Editora da UnB, 1998.
- MOLDER, Maria Filomena. *O pensamento morfológico de Goethe*. Lisboa: Imprensa Nacional – Casa da Moeda, 1995.
- RICHARDS, Robert J. *The romantic conception of life: Science and Philosophy in the Age of Goethe*. Chicago: University of Chicago, 2002.
- . *The tragic sense of life: Ernst Haeckel and the struggle over evolutionary thought*. Chicago: University of Chicago, 2008.
- SPENCER, Herbert. *The Principles of Biology. v. I*. London: Williams and Norgate, 1864.
- . *The Principles of Biology. v. II*. London: Williams and Norgate, 1867 (a).
- . *First Principles*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Williams and Norgate, 1867 (b).

**Data de submissão:** 20/08/2015

**Aprovado para publicação:** 15/10/2015



## Normas para publicação

O periódico *Filosofia e História da Biologia* se destina à publicação de artigos resultantes de pesquisas originais referentes à filosofia e/ou história da biologia e temas correlatos, bem como sobre o uso de história e filosofia da biologia na educação. Publica também resenhas de obras recentes, sobre esses temas.

Somente textos inéditos (e que não estejam sendo submetidos para publicação em outro local) poderão ser submetidos para publicação em *Filosofia e História da Biologia*. Ao submeter o manuscrito, os autores assumem a responsabilidade de o trabalho não ter sido previamente publicado e nem estar sendo analisado por outra revista.

Os artigos devem resultar de uma pesquisa original e devem representar uma contribuição efetiva para a área. Todos os trabalhos submetidos serão enviados para análise de dois árbitros. Em caso de divergência entre os pareceres, o trabalho será analisado por um terceiro árbitro.

A análise dos originais levará em conta: (1) pertinência temática do artigo; (2) obediência às normas aqui apresentadas; (3) originalidade e profundidade da pesquisa; (4) a redação do trabalho.

Os trabalhos submetidos podem ser aceitos, rejeitados, ou aceitos condicionalmente. Os autores têm direito a recorrer da decisão, quando discordarem da mesma, e nesse caso será consultado um novo membro da Comissão Editorial, que emitirá um parecer final.

São aceitos para publicação em *Filosofia e História da Biologia* artigos em português, espanhol ou inglês. Os artigos submetidos devem conter um resumo no idioma original e um abstract em inglês. Os artigos em inglês devem vir acompanhados de um resumo em português, além do abstract. Os resumos e abstracts devem ter cerca de 200 palavras. Devem também ser indicadas cerca de cinco palavras-chave (e *keywords*) que identifiquem o trabalho. As palavras-chave, separadas por ponto-e-vírgula, devem especificar a temática do artigo e as subáreas amplas em que ele se enquadra (por exemplo:

filosofia da genética), em ordem direta; também devem ser indicados, se for o caso, personalidades centrais do artigo, em ordem indireta (por exemplo: Darwin, Charles).

Todos os agradecimentos devem ser inseridos no final do texto, em uma seção denominada “Agradecimentos”. Agradecimentos pessoais devem preceder os agradecimentos a instituições ou agências. Não devem ser inseridas notas de rodapé com agradecimentos. Agradecimentos a auxílios ou bolsas, assim como agradecimentos à colaboração de colegas, bem como menção à origem de um artigo (por exemplo: teses) devem ser indicados nesta seção. No caso de artigos em coautoria no qual as contribuições do diferentes autores foram diferenciadas, isso também deve ser mencionado na mesma seção, que será intitulada “Agradecimentos e créditos”.

Os artigos devem ter um máximo de 6.000 palavras (incluindo as notas de rodapé) e devem ser copiados ou digitados diretamente dentro do arquivo *Word* modelo da ABFHiB, Modelo-Fil-Hist-Biol.doc, que está disponível em <http://www.abfhib.org/Publicacoes/Modelo-Fil-Hist-Biol.doc>, versão atualizada em 20/06/2013. As resenhas devem ter um máximo de 2.000 palavras. Excepcionalmente, os Editores poderão aceitar trabalhos que ultrapassem esses limites.

Os originais devem ser enviados em formato DOC ou RTF para o seguinte e-mail: [fil-hist-biol@abfhib.org](mailto:fil-hist-biol@abfhib.org).

A mensagem encaminhando o artigo deve informar que se trata de um original inédito que está sendo submetido para publicação no periódico ***Filosofia e História da Biologia***.

As ilustrações devem ser fornecidas sob a forma de arquivos de alta resolução (pelo menos 1.200 pixels de largura, para ocupar toda a largura de uma página), com imagens nítidas e adequadas para reprodução. Devem ser acompanhadas de legenda e com indicação de sua fonte. Os autores devem fornecer apenas imagens cuja reprodução seja permitida (por exemplo, que sejam de domínio público).

Na versão impressa do periódico, todas as ilustrações serão publicadas em preto e branco (e tons de cinza) e todas as imagens coloridas que forem enviadas serão convertidas. Na versão eletrônica, podem ser incluídas ilustrações coloridas, que também devem ser de alta resolução.

Estudos envolvendo seres humanos ou animais deverão ter a aprovação do Conselho de Ética da instituição em que o estudo foi feito. Deve ser informado o número de protocolo correspondente.

Conflito de interesses: quando existe alguma relação entre os autores e qualquer entidade pública ou privada de que pode derivar algum conflito de interesse, essa possibilidade deve ser comunicada e será informada no final do artigo.

As referências bibliográficas devem aparecer em lista colocada ao final do artigo, em ordem alfabética e cronológica. Devem seguir as normas da ABNT e devem ser completas – contendo, por exemplo, as páginas inicial e final de artigos e capítulos de livros, nomes dos tradutores de obras, cidade e editora de publicação de livros, etc. Os nomes dos autores devem ser fornecidos por extenso e não com o uso de iniciais. Os títulos de periódicos devem ser fornecidos por extenso e não abreviados. O modelo fornecido pela ABFHiB apresenta mais informações sobre o modo de apresentar as referências bibliográficas e de mencioná-las no corpo do texto. Consulte também edições recentes da revista, para ver exemplos de referências bibliográficas.

Os autores que não seguirem rigorosamente o modelo utilizado por *Filosofia e História da Biologia* serão solicitados a adequarem seus originais às normas da revista e a completarem as informações incompletas, quando for o caso. Isso pode resultar em atraso na publicação do artigo.

A submissão de um trabalho para publicação em *Filosofia e História da Biologia* implica na cessão do direito de publicação à *Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia* (ABFHiB). Os artigos publicados nesta revista não poderão ser publicados em livros ou outros periódicos sem autorização formal dos Editores. Após a aceitação do trabalho para publicação, todos os autores devem assinar o termo de cessão de direitos autorais à ABFHiB.

Para enviar uma mensagem para o periódico *Filosofia e História da Biologia*, utilize este endereço: [fil-hist-biol@abfhib.org](mailto:fil-hist-biol@abfhib.org)

Informações adicionais:  
<http://www.abfhib.org/FHB/>  
[fil-hist-biol@abfhib.org](mailto:fil-hist-biol@abfhib.org)

