ISSN 1983-053X

Filosofia e História da Biologia 4

# UTILIZAÇÃO DE HISTÓRIA DA BIOLOGIA NO ENSINO MÉDIO

Associação Brasileira
de Filosofia e História
da Biologia – ABFHiB

FAPESP

BOOKLINK

# Filosofia e História da Biologia

Volume 4, 2009

# Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia – ABFHiB

http://www.abfhib.org


**DIRETORIA DA ABFHiB (GESTÃO 2006-2009)**

**Presidente**: Lilian Al-Chueyr Pereira Martins (PUC-SP)
**Vice-Presidente**: Gustavo Andrés Caponi (UFSC)
**Secretário**: Waldir Stefano (UPM)
**Tesoureira**: Maria Elice Brzezinski Prestes (USP)
**Conselheiros**: Aldo Mellender de Araújo (UFRGS
Anna Carolina Krebs Pereira Regner (Unisinos)
Charbel Niño El-Hani (UFBA)
Nélio M. V. Bizzo (USP)


A Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHiB) foi fundada no dia 17 de agosto de 2006, durante a realização do 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 (PUC-SP)
Maria Elice Brzezinski Prestes (USP)
**Editor associado**: Roberto de Andrade Martins (Unicamp)
**Conselho editorial**: Aldo Mellender de Araújo (UFRGS), Ana Maria de Andrade Caldeira (Unesp), Anna Carolina Regner (Unisinos), Charbel Niño El-Hani (UFBA), Gustavo Caponi (UFSC), Marisa Russo (CNRS, França), Nadir Ferrari (UFSC), Nelio Bizzo (USP), Pablo Lorenzano (UBA, Argentina), Palmira Fontes da Costa (UNL, Portugal), Ricardo Waizbort (Fiocruz), Susana Gisela Lamas (UNLP, Argentina)

ISSN 1983-053X

# Filosofia e História da Biologia

Volume 4, 2009

## Utilização de História da Biologia no Ensino Médio

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FILOSOFIA E HISTÓRIA DA BIOLOGIA

FAPESP

BOOKLINK

**Filosofia e História da Biologia**

V. 4 – 2009
Utilização de História da Biologia no Ensino Médio

homepage/
e-mail da instituição:

www.booklink.com.br/
abfhib
fil-hist-biol@abfhib.org

**ABFHiB**

Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia

Rua Coronel Quirino, 1586
13025-002 Campinas, SP
Caixa Postal 6059
13083-970 Campinas, SP
www.abfhib.org
admin@abfhib.org

Copyright © 2009 ABFHiB

Nenhuma parte deste livro 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.

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

Preparação dos originais deste volume: Ana Paula de Oliveira Pereira de Morais Brito e Márcia das Neves

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

Filosofia e História da Biologia. Vol. 4 (jan./dez. 2009). Campinas, SP: ABFHiB, São Paulo: FAPESP, Rio de Janeiro: Booklink, 2009.

Anual
x, 262 p.; 21 cm.
ISSN 1983-053X
ISBN 978-85-7729-&&&-&

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

# Sumário

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins vii
Apresentação

Maria Elice Brzezinski Prestes; Ana Maria de Andrade 1
Caldeira
"Introdução. A importância da história da ciência na educação científica"

Caroline Belotto Batisteti; Elaine Sandra Nabuco de Ara- 17
újo; João José Caluzi
"As estruturas celulares: o estudo histórico do núcleo e sua contribuição para o ensino de biologia"

Gilberto Oliveira Brandão; Louise Brandes Moura Fer- 43
reira
"O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade"

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins 65
"Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada"

Maria Elice Brzezinski Prestes; Patrícia Oliveira; Gerda 101
Maísa Jensen
"As origens da classificação de plantas de Carl von Linné no ensino de biologia"

Mariana Ap. Bologna Soares de Andrade; Ana Maria de 139
Andrade Caldeira
"O modelo de DNA e a Biologia Molecular: inserção histórica para o Ensino de Biologia"

Roberto de Andrade Martins 167
"Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de "ares" e os seres vivos"

Viviane Arruda do Carmo; Nelio Bizzo; Lilian Al-Chueyr Pereira Martins 209
"Alfred Russel Wallace e o princípio de seleção natural"

Nelio Bizzo; Charbel Niño El-Hani 235
"O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel"

# Apresentação

**Lilian Al-Chueyr Pereira Martins** *

Este volume especial de *Filosofia e História da Biologia* é o primeiro resultado de uma das propostas da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHiB): realizar pequenos encontros destinados à discussão de trabalhos tratando de temas restritos, diferentemente dos encontros organizados anualmente, onde são apresentados trabalhos que abordam os mais diferentes temas dentro da filosofia e história da biologia e suas interfaces.

O objetivo principal desses encontros temáticos é propiciar uma discussão profunda sobre os trabalhos apresentados de modo que seus autores possam, a partir das sugestões recebidas, elaborar uma versão final para ser publicada.

Os capítulos que integram este volume foram elaborados a partir de pesquisa original desenvolvida por seus autores, apresentada e discutida no 1º Encontro Temático da ABFHiB. Esse evento, que tratou da utilização da história da biologia no ensino médio, ocorreu em Campos do Jordão de 13 a 15 de novembro de 2008 e contou com o apoio da FAPESP e Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Temos agora a satisfação de estar cumprindo o segundo objetivo deste encontro temático, que era publicar um livro com textos referentes à história da biologia, destinados aos estudantes e aos professores de ensino médio.

Esperamos que o volume 4 de *Filosofia e História da Biologia* possa contribuir para ajudar a preencher a carência de material

* Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC/SP. Membro do Grupo de História e Teoria da Ciência (GHTC) da Universidade Estadual de Campinas. Bolsista de Produtividade em pesquisa do CNPq. E-mail: lacpm@uol.com.br

referente à história da biologia a ser utilizado pelos professores, tanto na sala de aula como em seu próprio estudo.

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste volume e para a concretização dos objetivos da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia.

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins
Presidente da ABFHiB

# Introdução. A importância da história da ciência na educação científica

**Maria Elice Brzezinski Prestes** *
**Ana Maria de Andrade Caldeira** #

**Resumo**: Nas últimas décadas, o interesse pelo ensino contextual das ciências consolidou um campo de pesquisa que explora as componentes históricas, filosóficas, sociais e culturais da ciência, dando ênfase às potencialidades de sua utilização nas aulas de ciências do ensino básico e superior. Análises publicadas por Michael Matthews e Richard Duschl sobre as pesquisas realizadas entre as décadas de 1950 e 1980 indicam duas tendências na área. Por um lado, existe um interesse crescente em trabalhos voltados a *como* aplicar História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências. Por outro, predominam hoje "abordagens inclusivas" que estão voltadas à introdução de episódios históricos específicos em unidades de cursos de ciências padrão. A filiação a essa dupla orientação das pesquisas é atribuída ao conjunto de textos sumarizados em seguida e que compõem trabalhos elaborados por diferentes autores para uma publicação conjunta de estudos de caso de história da biologia que podem ser utilizados em sala de aula, subsidiando reflexões acerca de aspectos particulares da natureza da ciência.
**Palavras-chave:** história da Biologia; ensino de Biologia; ensino de ciências.

**Introduction. The relevance of history of science in science education**

**Abstract:** In the last few decades, the interest for a contextual science teaching have consolidated a field of research exploring the historical, philosophical, social

* Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Membro do Grupo de História e Teoria da Ciência (GHTC) da Universidade Estadual de Campinas. Cidade Universitária, Rua do Matão, 277, sala 317A, São Paulo, SP, CEP 05508-090. E-mail: eprestes@ib.usp.br

# Departamento de Educação da Faculdade de Ciências-Campus de Bauru da Universidade Estadual Paulista. Líder do Grupo de Pesquisa em Educação Científica do Programa de Pós Graduação Em Educação para a Ciência. Av. Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, n14-01 Vargem Limpa, Bauru, SP. CEP 17033-360. E-mail: anacaldeira@fc.unesp.br

and cultural components of science, focusing its uses in different levels of science education. Analysis published by Michael Matthews and Richard Duschl about different kinds of works developed between the 1950s and 1980s reveal two central tendencies in the field: a growing interest on researches about *how* to apply History and Philosophy of Science in science teaching; and an "add-on approach", devoted to the introduction of specific historical episodes in regular science courses. This double tendency is linked to the following papers briefly summarized that represent case-studies in history of biology that can be used in science classes. At the same time, they guide reflections about particular aspects of the nature of science.
**Keywords**: history of biology, teaching of biology, science teaching

"Educação é a estratégia desenvolvida pelas sociedades
para possibilitar a cada indivíduo atingir seu potencial criativo
e estimular e facilitar a ação comum,
com vistas a viver em sociedade, exercitando a cidadania plena".
Ubiratan D'Ambrosio.

A partir da década de 1970, aumentou significativamente o interesse pelo *ensino contextual das ciências* tanto no Ensino Básico, quanto no Ensino Superior. Trata-se de uma tendência que explora as componentes históricas, filosóficas, sociais e culturais da ciência por meio de enfoques e abordagens variadas, na tentativa de promover uma formação que supere a demarcação entre o ensino dos conteúdos científicos e o de seus contextos de produção. Houve mesmo o aparecimento de uma comunidade nova de pesquisadores, provenientes de áreas especializadas, reunida pelo interesse comum da promoção da educação científica. Historiadores da ciência, filósofos da ciência e sociólogos da ciência motivados pelos problemas do ensino-aprendizagem das ciências aliaram-se a pesquisadores em ensino de Física, Biologia e Química, já envolvidos na também emergente área de pesquisa denominada "Ensino de Ciências" ou "Didática das Ciências" (em inglês, *Science Education*). A confluência do olhar partilhado por esses diferentes grupos de pesquisadores gerou aumento significativo no número de publicações, no Brasil e no exterior, destinadas a identificar as contribuições que os diferentes componentes da ciência têm a oferecer à educação científica[1].

[1] Revisões da literatura acerca da aplicação da História e Filosofia da Ciência na

Um impulso significativo para o estabelecimento do campo de pesquisa que integra profissionais das áreas acima referidas ocorreu em 1989 com a *First International Conference on History and Philosophy of Science and Science Teaching*, realizada na Universidade da Flórida. As conferências que lhe seguiram ofereceram sustentação ao diálogo entre as áreas, especialmente com o aparecimento, em 1992, do periódico *Science & Education: Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Mathematics*, dedicado às abordagens históricas, filosóficas e sociológicas no ensino-aprendizagem de ciências e matemática.

No caso particular da História da Ciência e do papel que tem a desempenhar no ensino, existe vasta literatura que discute suas contribuições, e desafios, em aulas de ciências dos diferentes níveis de ensino[2]. O fundador da *Science & Education*, Michael Matthews, sintetiza diversos dos argumentos presentes na literatura em uma lista de sete razões favoráveis à inclusão do componente histórico nos programas curriculares de ciências:

> A História promove melhor compreensão dos conceitos científicos e métodos.
>
> Abordagens históricas conectam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das idéias científicas.
>
> A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da História da Ciência e Cultura – a revolução científica, o darwinismo, a descoberta da penicilina etc. – deveriam ser familiares a todo estudante.
>
> A História é necessária para entender a natureza da ciência.
>
> A História neutraliza o cientificismo e dogmatismo que são encontrados freqüentemente nos manuais de ensino de ciências e nas aulas.

---

educação científica foram publicadas por Derek Hodson (1985), Michael Matthews (1989, 1990) e Duschl (1994).

[2] Entre autores brasileiros, a discussão está presente em Roberto Martins 1990 e 2006, Nelio Bizzo 1991, Fernando Bastos 1998, Lilian Martins 1998, Fernanda Meglhioratti, Jehud Bortolozzi e Ana Maria de A. Caldeira 2005, entre outros.

> A História, pelo exame da vida e da época de pesquisadores individuais, humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante aos alunos.
>
> A História favorece conexões a serem feitas dentro de tópicos e disciplinas científicas, assim como com outras disciplinas acadêmicas; a história expõe a natureza integrativa e interdependente das aquisições humanas (Matthews, 1994, p. 50).

A perspectiva contextual do ensino de ciências foi incorporada, nos últimos anos, em documentos oficiais de orientação curricular, bem como em projetos desenvolvidos por grupos de pesquisadores de Ensino de Ciências de países como EUA, Inglaterra, Brasil, Holanda, Dinamarca, Itália, Espanha, Alemanha (Pumfrey, 1991, p. 62; Matthews, 1994, p. 54-60). São difundidos na literatura brasileira da área de Ensino de Ciências os documentos oficiais dos EUA e Reino Unido (El-Hani, 2006, p. 3). No Reino Unido, os professores foram convidados a engajarem-se criticamente com a "Natureza da Ciência" (NdC) por intermédio de dois documentos de 1989, *Science in the National Curriculum* e *Science: non-statutory guidance*, de 1989, elaborados, respectivamente, pelo *Departament of Education and Science* e *National Curriculum Council* (NCC) (Pumfrey, 1991, p. 61). Nos Estados Unidos, em 1996, configurou-se o ensino contextual das ciências em documento do *National Research Council* (NRC) intitulado *National Science Education Standards*. Em linhas gerais, esta orientação curricular nacional seguiu parâmetros estabelecidos anteriormente pela *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) expressos em duas publicações importantes, *Science for all Americans*, de 1990, e *Benchmarks for science literacy: a project 2061 report*, de 1993. Nas orientações americanas, uma melhor compreensão da natureza da ciência é apresentada como a componente central da alfabetização científica, e a História da Ciência como ferramenta das mais adequadas para atingir essa meta no ambiente escolar[3].

[3] Contudo, o *Projeto 2061* da AAAS é criticado por refletir ainda práticas conservadoras, na medida em que apresenta episódios históricos celebrando as maiores contribuições da ciência e grandes cientistas. Além disso, são apresentados os produtos acabados da ciência, em vez de ser destacado o processo de construção

No Brasil, a situação referida pelos documentos oficiais do governo federal é, comparativamente, mais difusa em relação a um compromisso autêntico com a abordagem contextual. Nos *Parâmetros curriculares nacionais*, PCNs (em suas diferentes versões, do Ensino Fundamental, de 1997, e do Ensino Médio e PCN+ de 2000), esse tratamento é apenas indicado de forma pontual (El-Hani, 2006, p. 4), sem que História, Filosofia ou Sociologia da Ciência cumpram de forma sistêmica o papel integrador que poderiam conferir ao currículo. Também chama a atenção a ausência do apelo ao ensino contextual da ciência no documento lançado em 2007 pela Academia Brasileira de Ciências, intitulado *O ensino de ciências e a educação básica: propostas para superar a crise*.

O tratamento assistemático presente nos documentos curriculares mencionados é indício de que mesmo a renovação do interesse pela História e Filosofia da Ciência (HFC) na formação científica não foi capaz de diminuir a defasagem, percebida em meio à década de 1980, entre o ritmo da pesquisa em HFC e o da pesquisa acerca de sua aplicação no ensino (Duschl, 1985). Essa constatação torna-se mais emblemática quando consideramos que tal interesse já não era novo, como veremos a seguir com o exemplo da Inglaterra, já bem referido na literatura da área.

Historiando o tema, Edgar Jenkins refere-se a apelo de 1855 da *British Association for the Advancement of Science* (BAAS), para que se ensinasse aos jovens não "apenas meros resultados, mas os métodos e, acima de tudo, a história da ciência", com o objetivo de promover a própria ciência. No início do século XX, em 1918, a mesma associação renovou a convocação para "aulas sobre História da Ciência" e biografias científicas com o objetivo de destacar os "aspectos humanos da ciência" (Jenkins, 1991, p. 33; Sherratt, 1982, p. 225). Proposta semelhante foi apresentada em relatório do governo britânico do mesmo ano, *Natural science in education* (conhecido como *Thomson Report*), propondo que, tanto a história

---

do conhecimento científico. Uma visão mais realista do fazer científico poderia ser alcançada, como lembra o autor dessa crítica, Douglas Allchin, se o projeto incluísse a introdução de episódios com conclusões que foram aceitas no passado, mas que hoje são rejeitadas pela comunidade de cientistas. (Allchin, 2007, How *not* to teach History in Science, p. 2, 4).

quanto a filosofia da ciência fizessem parte do "equipamento intelectual de todo professor de ciências do nível secundário de ensino" (Matthews, 1994, p. 58). Embora a dimensão humana da ciência ressaltada nessa abordagem tenha sido relevante às circunstâncias particulares dos problemas de uma sociedade envolvida com a Primeira Guerra Mundial, é preciso entendê-la em seu contexto próprio. No início do século XX, realçar a dimensão humana da ciência era realçar as descobertas científicas que promoviam o bem estar da sociedade e seus grandes personagens, modelos de heróis a inspirarem os jovens.

Essa abordagem tradicional, praticamente já centenária, de História da Ciência, muitas vezes restrita à história de "fatos, anedotas e heróis", infelizmente, parece não ter sido ainda abandonada nas salas de aula de ciências, ainda que não faltem alertas na literatura. Roberto Martins, em 1990, chamava a atenção de que esses elementos, além de não contribuírem para o ensino da própria ciência, promovem uma visão distorcida e mitificada da ciência e dos cientistas[4]. Em 1991, Stephen Pumfrey condenava os *éloges* característicos dos velhos livros didáticos porque desmotivam os estudantes: apresentam a ciência como "velha" (ou seja, acabada e não em discussão), "alienada" (realizada por gênios) e onipotente (respostas são sempre encontradas). Também está presente entre as dificuldades listadas por Douglas Allchin que se serviu da estratégia de indicar como *não* usar a história da ciência, fornecendo pistas concretas para o professor (Allchin, "How *not* to teach history of science", 2007).

Nos anos 1950, a aproximação entre a Sociedade Britânica para a História da Ciência (fundada em 1946) e organizações de professores de ciências fomentou o desenvolvimento de currículos e atividades integradas entre as duas áreas. Contudo, os cursos e exames derivados das primeiras orientações curriculares Nuffield, de 1951, para Inglaterra, Wales e Irlanda do Norte, praticamente ignoraram as dimensões histórica, social e cultural da ciên-

[4] Roberto Martins publicou outros artigos voltados a desfazer mitos da história da ciência, como, por exemplo, "A maçã de Newton: história, lenda e tolices" e "Arquimedes e a coroa do rei".

cia (Jenkins, 1991, p. 34; Matthews, 1994, pp. 58-59). Assim, embora diretrizes contextuais tenham sido incorporadas na produção de livros didáticos e de popularização da ciência e em periódicos científicos, a História da Ciência permaneceu ocupando um papel secundário no currículo científico das escolas britânicas ao longo da maior parte do século XX (Jenkins, 1991, p. 34).

Por outro lado, do ponto de vista da produção acadêmica, a partir dos anos 1950, houve um aumento de iniciativas em diversos países, caracterizando o que Matthews destacou como uma "mudança na sorte" da inclusão da História da Ciência no currículo científico (Matthews, 1994, p. 49). Tomando a mesma década como ponto de partida, Richard Duschl fez uma revisão da literatura publicada na área de intersecção entre História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciência, finalizando seu levantamento nos anos 1980. Duschl concluiu que nas duas primeiras décadas, 1950 e 1960, as pesquisas refletiram propostas direcionadas ao planejamento curricular, ao passo que, nos anos 1970 e 1980, o interesse migrou crescentemente para pesquisas voltadas ao *como* aplicar História e Filosofia da Ciência em estratégias de ensino, aprendizagem e avaliação. Em sintonia com tendência percebida nas pesquisas da área de Educação em geral, no nicho particular da História e Filosofia da Ciência na educação das disciplinas científicas, o foco foi transferido para a prática instrucional e tomada de decisão pelos professores (Duschl, 1994, p. 443; 455).

Consideramos fértil a aproximação entre os resultados encontrados na análise de Duschl e perspectiva sinalizada por Michael Matthews ao identificar duas tendências nas propostas de inclusão da História da Ciência nos currículos científicos no mesmo período. Uma delas, a mais recente, denominou "abordagem inclusiva" ("*add-on approach*"). Trata-se da introdução de episódios históricos específicos (ou "estudos de caso" de História da Ciência) em unidades de um curso de ciência padrão, não-histórico. Esta perspectiva parece ter ganho espaço, em parte, devido às dificuldades encontradas pela abordagem anterior, característica dos anos 1950 e 1960, que Matthews denominou "integrada" ("*integrated approach*"): a perspectiva histórica servia de linha condutora de *todo* o conteúdo científico a ser trabalhado com os estudantes em um dado programa de curso. Nesse caso, cada conceito seria tratado segundo suas origens e transformações, bem como cada método

ou prática seria analisado conforme seu desenvolvimento histórico (Matthews, 1994, p. 70).

De fato, esse princípio foi guia organizador de diversas obras publicadas entre os anos 1950 e 1970, destinadas ao Ensino Superior e Básico. O êxito e difusão que alcançaram, tornaram-nas referenciais didáticos bem conhecidos especialmente na Física[5], mas também na Biologia. O Comitê de Educação da *American Society of Zoologists* publicou no volume 26, de 1986, de seu periódico *American Zoologist*[6], o ensaio intitulado *Science as a way of knowing* de John A. Moore[7]. Embora esses textos tenham saído de circulação (edições esgotadas que não se renovaram) nos EUA[8], é provável que continuem exercendo papel modelar, como ocorre, por

---

[5] Na Física foram bastante difundidos: *Harvard Case Histories in Experimental Science* editado em dois volumes em 1957 por James B. Conant, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*, de 1952 de Gerald Holton e *Harvard Project Physics* que entre outros gerou *The Projects Physics Course*, de F. J. Rutherford, Gerald Holton e Stephen Brush, de 1970.
Uma iniciativa semelhante voltada ao Ensino Básico foi desenvolvida por Leopold E. Klopfer em *History of Science Cases* (Chicago: Science Research Associates, 1964), além das mais difundidas versões do *Biological Sciences Curriculum Studies* (BSCS) – bem conhecidas no Brasil devido à sua tradução e adaptação para uso em nosso país – e que foram desenvolvidas entre 1956-1960, a partir de idéias de J. J. Schwab (Matthews, 1994, pp. 54-57, Duschl, 1994, p. 451).

[6] O mesmo projeto da American Society of Zoologists elaborou material semelhante sobre Evolução Biológica, em 1983, e Ecologia Humana, em 1984.

[7] John A. Moore, que havia participado da versão amarela do BSCS *High School Biology*, de 1961, publicou em 1993 uma versão bastante ampliada desse ensaio em livro com o mesmo título.

[8] Materiais históricos adequados à temática de cada curso particular requerem um enorme esforço de preparação. Devem ser elaborados com base em conhecimento aprofundado da História da Ciência, constituído por meio de metodologia e abordagem própria e atualizada de pesquisa na área. Requerem, também, transposição didática para a educação científica do nível básico. No Ensino Básico, há um dilema que não pode ser desconsiderado. A abordagem histórica implica em dar a conhecer as alternativas disponíveis em cada época para explicar um dado fenômeno, incluindo, portanto, teorias e conceitos que foram posteriormente descartados. Por essa razão, projetos históricos de grande escala tendem a assumir proporções bem mais extensas que um curso de ciências não histórico, o que pode ser um problema mediante a pequena carga horária das disciplinas científicas no currículo do Ensino Básico.

exemplo, no curso de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo. O texto de Moore foi traduzido por professores do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva e vem sendo utilizado, desde o ano de 1995, como apostila didática e princípio norteador das aulas do curso de Genética, oferecido aos alunos ingressantes do curso. Como foi elaborado em formato de apostila que está disponível na internet, é lícito supor que seja utilizado também em cursos de Genética de outras instituições brasileiras.

Consideramos que as duas abordagens, a integrada e a inclusiva, tenham seu valor no ensino de ciências. Contudo, concordamos com Allchin em que permanecerá majoritária a tendência de elaboração de contribuições pontuais, "ao menos até conseguirmos desenvolver suportes mais amplos para projetos de grande escala" (Allchin, 2007, "History as a tool in science education", p. 8). A abordagem inclusiva colabora diretamente em dar ao professor a autonomia para a "tomada de decisão" na construção do programa de aprendizagem, conforme preconizado pelos modelos educacionais atuais. Em vez de um único texto didático, materiais curriculares de formato mais modular permitem que o professor estabeleça "constelações particulares de materiais disponíveis para ajustarem-se aos perfis da escola e das classes em que leciona" (*ibid.*, p. 9).

Alinhada à abordagem inclusiva, a proposta deste livro é a de oferecer estudos de caso da História da Biologia pertinentes ao planejamento curricular do Ensino Médio. O livro derivou de um esforço de colaboração entre profissionais das áreas de História da Ciência e de Ensino de Ciências, reunidos pelo interesse comum de promover o ensino contextual da ciência na Educação Básica. Os estudos de caso foram compostos como resultados de processos de pesquisa original, objetivando evitar os erros historiográficos e as anedotas lendárias que costumam circular no ensino.

O livro destina-se à aplicação direta em sala de aula. Cada capítulo trata de um tópico restrito da história da biologia que é abordado no Ensino Médio. A estrutura dos sete capítulos iniciais é uniforme: possuem uma introdução ao tópico que será abordado, na qual são destacados aspectos da natureza da ciência realçados pelo episódio em questão; segue-se um texto em linguagem adequada aos estudantes, apresentando informações históricas corretas e bem fundamentadas sobre o tema escolhido; por último, é

fornecida uma discussão histórica mais aprofundada do assunto para subsidiar o estudo do professor, acompanhado da bibliografia utilizada.

Entre os tópicos oferecidos nos dois capítulos iniciais estão temas cuja relevância nos currículos de biologia no Ensino Médio é incontestável: a construção do modelo da molécula de DNA e os experimentos de hibridização de ervilhas. Ambos possuem atualidade estabelecida pelas relações que permitem traçar entre ciência, tecnologia e sociedade. Do ponto de vista histórico, ambos conflagraram o surgimento de subáreas de pesquisa que se consolidaram delimitando duas novas disciplinas, respectivamente, a Biologia Molecular e a Genética.

Mariana de Andrade e Ana Maria Caldeira discorrem sobre os conhecimentos mobilizados ao longo do processo de construção do modelo da molécula de DNA. As autoras fornecem informações sobre os modelos alternativos propostos até 1953, indicando por quais aspectos foram superados pelo modelo de dupla hélice de Watson e Crick. O episódio fornece elementos para o professor discutir com seus alunos o modo com que os cientistas trabalham, constelando diferentes conceitos e métodos, particularmente no que diz respeito à modelagem, isto é, o processo de construção de modelos pelos cientistas. Ao compreender a modelagem e o uso de modelos, os alunos desenvolvem habilidades do pensar que não são apenas associadas a esse grupo conceitual, mas que servirão de base para novas aprendizagens. Tomando os modelos científicos como exemplos comuns de teoria e inferência na ciência, o episódio cria condições do professor problematizar com os alunos um aspecto central da natureza da ciência que é o da distinção entre leis e teorias (Lederman, 2007, p. 833-834). Além disso, permite que o professor problematize a utilização de modelos como ferramenta de transposição didática.

Gilberto Brandão e Louise Ferreira discutem e contextualizam os experimentos de hibridização de ervilhas realizados por Mendel. Os autores priorizam dois aspectos em sua abordagem. Um deles é o de indicar que, diferentemente da genética do século XX, os estudos de Mendel sobre a hereditariedade implicavam numa dupla matriz conceitual, os mecanismos de herança propriamente e os processos de desenvolvimento embriológico. O outro aspecto focalizado pelos autores é o da mudança de termos adotados

por Mendel e pela Genética posterior, bem como dos significados alternativos que, em alguns casos, os mesmos termos assumiram com o tempo. O episódio permite explorar um aspecto importante da natureza da ciência, que é o de mostrar que o conhecimento científico nunca é absoluto ou certo. Suas teorias, e conceitos integrantes, são tentativas e sujeitas a mudanças (Lederman, 2007, p. 834).

Outro episódio importante da história da biologia é visitado no capítulo "Alfred Russel Wallace e o princípio da seleção natural", de autoria de Viviane do Carmo, Nélio Bizzo e Lilian Martins. Desta vez, o que pode ser discutido com os alunos é a natureza da ciência como um processo de construção coletiva do conhecimento. Entre seus aspectos, pode-se destacar a possível simultaneidade com que duas ou mais pessoas chegam, independentemente, a uma mesma concepção. Mais que isso, mesmo quando diferentes autores chegam a uma mesma concepção, é importante ressaltar que ela apresenta diferenças individuais, como ocorre com a seleção natural concebida por Wallace e por Darwin. Ao trabalhar o conteúdo desse capítulo, o professor tem ainda a oportunidade de mostrar que as teorias científicas não surgem a partir do nada, pois existe um conhecimento anterior. Ao ilustrar um caso em que uma nova teoria ou proposta não é aceita prontamente, o professor terá subsídios para discutir com seus alunos sobre os modos em geral que levam à aceitação ou rejeição das teorias científicas.

Em capítulo intitulado "Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada", Lilian Martins analisa algumas das contribuições de Louis Pasteur relativas à geração espontânea dos seres vivos, esclarecendo equívocos muito comuns sobre o tema. Indicando os debates e pesquisas da época, a autora fornece subsídios históricos que evidenciam que Pasteur não provou e nem poderia ter provado experimentalmente que a geração espontânea não existe. O estudo de caso ilustra como se configura uma "controvérsia científica", considerados os elementos "internos" à própria ciência, bem como os aspectos "externos", sociais, que se manifestam por meio do viés público que caracteriza a controvérsia. Assim, outra face da natureza da ciência pode ser explorada em sala de aula. A ciência como empreendimento humano é praticada no contexto mais amplo da cultura, de modo que afeta e é afetada

pelos vários elementos da cultura em que está imersa (Lederman, 2007, p. 834).

Um estudo sobre as pesquisas que levaram Robert Brown à identificação do núcleo das células em orquídeas é apresentado por Caroline Batisteti, Elaine de Araújo e João Caluzi. As observações originais de Brown são retomadas com o intuito de discutir o complexo processo de produção do modelo de célula aceito atualmente. Os autores também oferecem uma proposta didática para uso desse tema como princípio integrador que possibilite abordagens interdisciplinares compostas por contribuições da botânica, da ótica, da genética e da microscopia. Conduzido para a discussão do conceito de "descoberta" em ciência, este episódio oportuniza entender a distinção entre observação e inferência (Lederman, 2007, p. 833), outro aspecto nuclear da natureza da ciência.

Recuando ainda mais no tempo, Maria Elice Prestes, Patrícia Oliveira e Maísa Jensen remetem-se ao tema da classificação das plantas de Lineu. As autoras revisitam diferentes obras do naturalista sueco de modo a evidenciar o processo gradativo pelo qual ele construiu seu programa de classificação, em suas componentes de descrição, nomeação e classificação propriamente. Procurando corrigir distorção historiográfica freqüente que toma Lineu como o "primeiro" ou o "fundador" das classificações, o momento histórico é expandido para publicações anteriores de relevância para a compreensão dos processos reprodutivos dos vegetais, como a estrutura e função das flores – órgão da planta escolhido pelo naturalista para estabelecer os critérios básicos da classificação. O estudo de caso ilustra que idéias e teorias científicas não surgem inteiras, prontas, na mente do investigador, mas são o efeito de uma construção gradativa e sistemática, decorrentes de idas e vindas em seus processos de pesquisa.

O sétimo tema dos estudos de caso selecionado por sua relevância no contexto do Ensino Médio de Biologia é a fotossíntese. Em capítulo voltado a conhecer os passos que levaram à descoberta desse processo das plantas, Roberto Martins analisa os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de "ares" e os seres vivos. O autor conclui que não há razão para tomar Priestley como o descobridor da fotossíntese, como se costuma dizer, pois as suas concepções químicas e suas idéias sobre o que se passava nos seus experimentos tinham muito pouca semelhança com nos-

sas interpretações atuais sobre esse processo das plantas. Dentre os conceitos de natureza da ciência e da pesquisa científica, o episódio permite que o professor explore com seus alunos a relação entre diferentes campos de estudo, como a química, a física, a medicina e a história natural. Também favorece a discussão acerca das influências de idéias preconcebidas na pesquisa e as dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores diante de fatos novos e inesperados. Ainda permite discutir as diferentes interpretações que pesquisadores contemporâneos ou próximos podem oferecer para os mesmos dados de observação e experiência.

O oitavo capítulo foi pensado segundo estrutura e propósito distintos dos capítulos anteriores. Nelio Bizzo e Charbel El-Hani propõem uma reflexão que se destina a subsidiar o professor em sua tarefa de estabelecer um programa de aprendizagem de evolução que supere as dificuldades que se fazem sentir no tratamento desse tema na Educação Básica. Fundamentando-se em aspectos epistemológicos e no desenvolvimento histórico dos conceitos de hereditariedade e de evolução, associado à análise de suas inter-relações, os autores defendem uma inversão na apresentação desses conteúdos disciplinares aos alunos. Além do deslocamento da temática evolutiva para posição mais anterior no currículo (em geral ministrada no final dos cursos), os autores propõem que seja minorada a abordagem acerca da dinâmica dos genes em populações em favor de um tratamento mais amplo da macroevolução.

Ao final, esperamos que os estudos de caso de episódios históricos aqui tratados auxiliem no aprendizado da biologia sob vários aspectos, bem como iluminem discussões em classe sobre as relações entre ciência e sociedade. Acreditamos ser essa uma via que pode contribuir para a promoção da Educação no sentido em que o historiador da ciência e educador Ubiratan D'Ambrosio a define: como uma estratégia desenvolvida pelas sociedades para possibilitar a cada indivíduo atingir seu potencial criativo e estimular a ação comum com vistas ao exercício pleno da cidadania (D'Ambrosio, 1999).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. *O ensino de ciências e a educação básica: propostas para superar a crise*. 2007.

ALLCHIN, Douglas (ed.). *Teaching science through history: The Minnesota Case Study Collection*. CD-ROM, 2007.

———. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* **13**: 179-195, 2004.

D'AMBROSIO, Ubiratan. *Do saber matemático ao fazer pedagógico: o desafio da educação*. 1999. Disponível em: <http://vello.sites.uol.com.br/macae.htm>. Acesso em dezembro de 2008.

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS). *Science for all Americans*. 1990. Disponível em <http://www.project2061.org>. Acesso em dezembro de 2008.

———. *Benchmarks for science literacy: a project 2061 report*. 1993. Disponível em: <http://www.project2061.org>. Acesso em dezembro de 2008.

BIZZO, Nelio Marco Vicenzo. *Ensino de evolução e história do darwinismo*. São Paulo, 1991. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC/SEMTEC, 1997. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12624%3Aensino-fundamental&Itemid=859>. Acesso em dezembro de 2008.

———. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio* (PCNEM). Brasília: MEC/SEMTEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica>. Acesso em dezembro de 2008.

———. *PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica>. Acesso em dezembro de 2008.

BRUSH, Stephen G. History of science and science education. *Interchange* **20** (2): 60-70, 1989.

DUSCHL, Richard A. Science education and philosophy of science: twenty-five years of mutually exclusive development. *School Science and Mathematics* **85** (7): 541-555, 1985.

———. Research on the History and Philosophy of Science. Pp. 443-465, *in*: GABEL, Dorothy L. (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning: a project of the National Science Teachers Association.* New York: Macmillan, 1994.

EL-HANI, Charbel Niño. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. Pp. 3-21, *in*: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

HODSON, Derek. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education* **12**: 25-57, 1985.

JENKINS, Edgar. The history of science in British schools: retrospect and prospect. Pp. 33-41, *in*: MATTHEWS, Michael R. *History, philosophy, and science teaching: selected readings.* Toronto: OISE Press / Teachers College Press, 1991.

LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present, and future. Pp. 831-879, *in*: ABELL, Sandra K.; LEDERMAN, Norman G. (orgs.). *Handbook of research on science education*. New York: Routledge, 2007.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A história da ciência e o ensino da Biologia. *Ciência & Ensino* **5**: 18-21, 1998.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **9**: 3-7, 1990.

———. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física* **17** (2): 115-121, 2000.

———. Introdução: a história das ciências e seu uso na educação. Pp. xvii-xxx, *in*: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006 (a).

———. A maçã de Newton: história, lenda e tolices. Pp. 167-190, *in*: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006 (b).

MATTHEWS, Michael R. A brief review. *Synthese* **80**: 1-8, 1989.

———. History, philosophy and science teaching: a rapprochement. *Studies in Science Education* **18**: 25-51, 1990.
———. *History, philosophy, and science teaching: selected readings*. Toronto / New York: OISE Press / Teachers College Press, 1991.
———. History, philosophy, and science teaching: the present rapprochement. *Science & Education* **1** (1): 11-47, 1992.
———. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
MAYR, Ernst. *The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, MA: Belknap, 1982.
MEGLIORATTI, Fernanda A.; BORTOLOZZI, Jehud; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. História da Biologia: aproximações possíveis entre categorias históricas e concepções sobre ciência e evolução apresentadas pelos professores de biologia. Pp. 11-28, *in*: CALDEIRA, Ana Maria de A.; CALUZI, João José (orgs.). *Filosofia e história da ciência: contribuições para o ensino de ciência*. Ribeirão Preto: Kayrós, 2005.
MOORE, John A. Science as a way of knowing – genetics. *American Zoologist* **26**: 583-747, 1986.
———. *Science as a way of knowing: the foundations of modern biology*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1993.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *National Science Education Standards*. Washington (DC): The National Academies Press, 1996.
PUMFREY, Stephen. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. *British Journal of History of Science* **24**: 61-78, 1991.
SHERRATT, William J. History of science in the science curriculum: an historical perspective. Part I. Early interest and roles advocated. *The School Science Review* **64** (227): 225-236, 1982.
———. History of science in the science curriculum: an historical perspective. Part II. Interest shown by teachers. *The School Science Review* **64** (228): 418-424, 1983.
SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

# As estruturas celulares: o estudo histórico do núcleo e sua contribuição para o ensino de biologia

**Caroline Belotto Batisteti** *
**Elaine Sandra Nabuco de Araújo** #
**João José Caluzi** §

**Resumo:** Os problemas mais comuns encontrados nos livros didáticos de Biologia relacionados ao conteúdo de citologia referem-se às representações didáticas descontextualizadas das estruturas celulares. Além disso, nas informações apresentadas sobre as estruturas celulares, prioriza-se a função desempenhada por elas em detrimento de informações sobre os procedimentos científicos, as técnicas empregadas que levaram à sua observação e a sua relação com os demais componentes celulares e com o organismo como um todo. Nesta proposta, discutimos a identificação do núcleo em plantas (Orchidaceae) realizada por Robert Brown no século XIX, as dúvidas que permeiam essa questão, a reconstrução das observações originais de Brown e o significado da palavra "descoberta" no contexto científico. Por fim, apresentamos um quadro de integração de conteúdos, como uma possível forma de abordagem de diversos temas que podem ser explorados a partir do trabalho de Robert Brown.

* Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência/ Faculdade de Ciências / Universidade Estadual Paulista – Campus Bauru. Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência. Av: Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CEP 17033-360. Bauru, São Paulo. E-mail: carolbatisteti@fc.unesp.br.

# Pesquisadora do Centro de Divulgação e Memória da Ciência e Tecnologia/bolsista PRODOC/CAPES/ Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência / Faculdade de Ciências / Universidade Estadual Paulista – Bauru, São Paulo. E-mail: centro@fc.unesp.br

§ Departamento de Física da Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista – Campus Bauru e Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência / Faculdade de Ciências / Universidade Estadual Paulista – Campus Bauru. Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência, Bauru, São Paulo. E-mail: caluzi@fc.unesp.br

**Palavras-chave:** identificação do núcleo, ensino de biologia, representações didáticas, história da biologia

**The cellular structures: the historical study for the nucleus and its contribution to Biology teaching**

**Abstract:** As far as cytology content is concerned, the most common problem found at Biology didactic books refers to their didactic representations which have been out of context regarding cellular structures. Moreover, among the presented information about cellular structure, it has been prioritized their function rather than the information about scientific procedures and also the utilized techniques which have led to their observation and their relation with the remaining cellular components, as well with the organism as a whole. In this current proposal, we have discussed the nucleus identification (Orchidaceae) – which was realized by Robert Brown in the 19th century- the doubts which permeate the observations reconstruction from Brown's originals and the meaning of the word discovery inside the scientific context. Finally, we have shown a content integration chart, as a feasible way of approaching to several themes which can be explored from Robert Brown's work.
**Keywords**: nucleus identification, biology teaching, didactic representations, history of biology.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos livros didáticos de Biologia, normalmente, estão presentes esquemas ou desenhos de células que correspondem a uma representação didática de um conjunto de estruturas que foram, *a priori,* observadas ao microscópio. Ao nos depararmos com uma dessas imagens, podemos nos questionar se a visualização do material celular ao microscópio óptico escolar nos permitiria observar algo similar ao apresentado nos livros. Uma das maneiras de sanar esta curiosidade seria a realização de uma aula prática, com o intuito de examinar tecidos celulares, utilizando o microscópio disponível na escola e compararmos a imagem obtida com a de um esquema didático. Esta simples comparação, no entanto, não é suficiente para compreender o complexo processo de identificação e análise dos componentes celulares que culminou no modelo de célula aceito atualmente. Para isso, uma discussão sobre as diversas pesquisas científicas desenvolvidas ao longo do tempo – que contribuíram para a elaboração da representação didática da célula presente nos livros didáticos – é uma estratégia interessante.

Seria extremamente pretensioso de nossa parte tratar da história de todas as estruturas que compõem a célula. Até porque, o

período a ser contemplado se estende desde a identificação da célula pelos primeiros microscopistas do século XVII até o XX, com a identificação das subestruturas das células. Desta forma, selecionamos, especificamente, a história da identificação do núcleo. Ela servirá de pano de fundo para uma discussão sobre a produção do conhecimento científico acerca do modelo de célula aceito atualmente, como também, para a integração de diversos conteúdos, como botânica, óptica, genética e microscopia. Um aspecto que discutiremos ao longo do texto destinado aos professores refere-se ao significado da palavra "descoberta" na Ciência. Achamos oportuno dar enfoque a esta questão, uma vez que, em geral, os livros didáticos utilizam esse termo com frequência. No caso específico da identificação do núcleo, é bastante comum encontrarmos a frase "A descoberta do núcleo".

O nosso foco principal é a identificação do núcleo, porém, faremos uso também de imagens obtidas em outros períodos, com o intuito de fornecer ao leitor uma noção do processo e da dinâmica da construção desse conhecimento.

## 2 ROBERT BROWN E A IDENTIFICAÇÃO DO NÚCLEO CELULAR

Observe as Figuras 1 a 3, expostas a seguir. São imagens de células obtidas em diferentes períodos e dos respectivos microscópios em que elas foram visualizadas. Analise também a Figura 4. Trata-se de uma representação didática de uma célula obtida na Internet. Representações similares também estão presentes em livros didáticos de Biologia. A partir da comparação entre as imagens propostas, vários questionamentos podem ser feitos. Sugerimos uma reflexão sobre o longo caminho percorrido, desde a obtenção do desenho da Figura 1 até a imagem da Figura 3. Para auxiliá-lo nessa tarefa, faremos algumas considerações sobre cada uma delas.

A Figura 1A refere-se ao desenho feito por Robert Hooke (1635-1703) de um pedaço de cortiça, examinado ao microscópio. Esta observação foi publicada no livro *Micrographia* em 1665, que é constituído de um prefácio e sessenta observações. Algumas delas realizadas com um telescópio, e outras, com um microscópio composto (objetiva, ocular e lente de campo), conforme a Figura

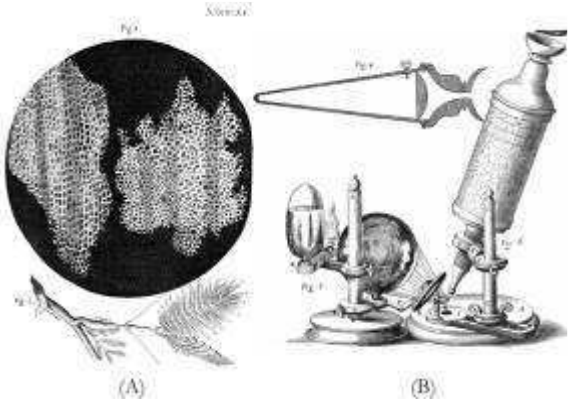



**Figura 1.** Imagens do livro *Micrografia* de Robert Hooke. Em (A), temos o esquema de células de cortiça desenhado por Hooke (Hooke, 1665, p. 114). Em (B), o desenho do microscópio utilizado por Hooke em suas observações (Hooke, 1665, prefácio).

1B, cujo poder de aumento era de 30-40 vezes. A seguir, apresentamos alguns trechos do trabalho de Hooke, em que ele mencionou detalhes do material observado.

> Mas a julgar pela leveza e flexibilidade da Cortiça, que certamente a textura não poderia ser mais curiosa, [...] se eu usasse algumas outras aplicações adicionais, eu poderia discerni-la com um microscópio, [...] e incidindo luz sob uma lente espessa plano-convexa, pude perceber claramente que ela era toda perfurada e porosa, como um favo de mel, mas os poros não eram regulares, contudo não se diferenciavam de um favo de mel nesses detalhes. (Hooke, 1665, pp. 112-113)

Ao longo do relato da observação, Hooke utilizou termos diferentes para denominar a estrutura que visualizou na cortiça: poros, células, celas, caixas, bolhas de ar.

> Esses poros, ou células, não muito profundos, porém consistindo de uma enorme quantidade de pequenas caixas, separadas entre si por um longo e contínuo poro, por certo *Diafragma*s. (Hooke, 1665, p. 113)

A denominação de "célula" para os poros observados se deve à comparação efetuada por Hooke entre esses e os quartos dos

mosteiros, que eram chamados de celas. Percebemos que o termo célula, cunhado por Hooke, foi empregado em um contexto e sentido diferentes dos atuais.

Embora seja comum mencionar as observações de Hooke na história dos estudos sobre a célula, lembramos que ele estava interessado em explicar as propriedades da cortiça, e em nenhum momento estabeleceu relação entre as suas observações e uma constituição celular universal dos seres vivos. Hoje sabemos que os poros descritos por Hooke, como caixas cheias de ar, eram as células mortas da casca da corticeira. Hooke mencionou ter sido ele o primeiro a observar essas estruturas.

> Eu não discerni estes antes (os quais foram de fato os primeiros poros microscópicos que eu já vi, e talvez, que nunca foram vistos, pois eu não havia encontrado qualquer pessoa ou escritor, que tivesse feito qualquer menção a eles antes disso), mas o pensamento que tive com a descoberta deles, sugere-me a razão verdadeira e inteligível de todo o fenômeno da cortiça. (Hooke, 1665, p. 113)

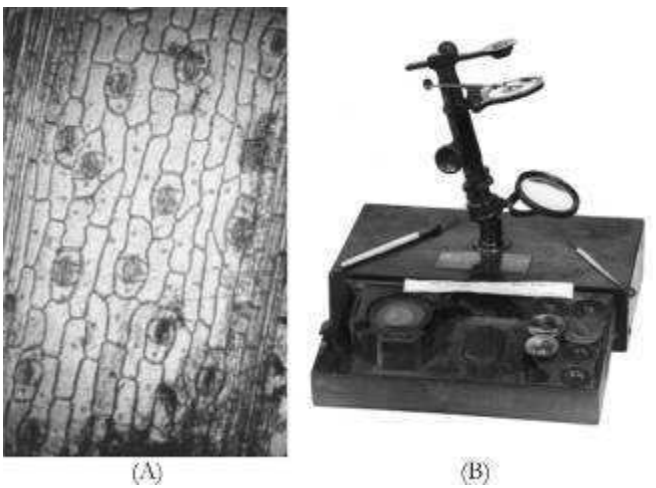



**Figura 2.** Em (A), imagem de células de epiderme de *Cymbidium* obtida do trabalho de Brian J. Ford acerca do reconhecimento do núcleo celular (Ford, 2001, p. 37). Segundo Ford, imagem similar foi visualizada por Brown. Em (B), imagem de um microscópio utilizado por Brown (www.anbg.gov.au/.../microscope-robert-brown.html)

A conjectura de Hooke "a razão verdadeira e inteligível de todo o fenômeno da cortiça", ou seja, a "sua leveza e flexibilidade" podia ser explicada pela estrutura evidenciada ao microscópio. A cortiça é leve porque é formada por uma quantidade muito pequena de corpo sólido (as paredes das "celas"), estendida numa dimensão extraordinariamente grande; é flexível porque o seu componente material sólido forma um conglomerado infinito de "caixas" ou "bolhas de ar", que é uma substância de natureza elástica.

É de relevância à história da ciência notar a importância que Hooke atribuiu ao uso do telescópio e do microscópio:

> Por meio de Telescópios, não há nada até agora tão distante que não possa ser representado às nossas vistas; e pela ajuda de microscópios, não há nada tão pequeno, que escape da nossa investigação, por conseguinte há um novo mundo visível descoberto para o entendimento. (Hooke, 1665, prefácio)

Agora, faremos uma análise mais pormenorizada da Figura 2A. Ela está relacionada com a identificação do núcleo celular, realizada pelo botânico escocês Robert Brown (1773-1858), em 1831[1]. A Figura 2B apresenta um dos microscópios pertencentes a ele, conforme reportado por Ford[2] (1982, p. 282). Selecionamos essa imagem (Figura 2A) porque o núcleo foi a primeira estrutura celular a ser observada e para podermos compará-la com a Figura 3A. A seguir, relataremos um pouco da história de como isso ocorreu.

Brown nasceu na Escócia, estudou medicina na Universidade de Edimburgo e, por volta de 1798, conheceu o botânico britânico Joseph Banks (1743-1820). Naquela época, Brown morava na Irlanda e já havia iniciado seus estudos com plantas. De acordo com Ford, Banks sugeriu que Brown embarcasse como naturalista

---

[1] O artigo de Brown sobre a identificação do núcleo celular foi originalmente publicado em 1831 e re-impresso com pequenas revisões na *Transaction of the Linnean Society of London,* em 1833. O artigo da *Transaction* foi re-impresso em *The miscellaneous botanical works of Robert Brown,* publicado pela *Ray Society,* em 1866. Neste trabalho utilizamos o artigo re-impresso datado de 1833.

[2] A imagem 2B foi obtida de um site, pois, a figura deste mesmo microscópio presente no artigo de Ford (1982) apresentava baixa resolução.

na expedição *Investigator*, direcionada à exploração da costa australiana (Ford, 1982, p. 281). Durante sua viagem, que durou de 1801 a 1805, Brown coletou quase 4 mil espécies de plantas, dedicando-se, a partir de então, a estudar a classificação desse material. Em seu artigo de 1833, intitulado *Sobre os órgãos e modo de fecundação em* Orchideae[3] e Asclepiadeae, buscou relacionar conceitos e concepções botânicas, principalmente sobre a fecundação de duas famílias de plantas. Em meio a esses estudos, ao analisar tecidos vegetais ao microscópio (com poder de aumento de 75 vezes) Brown observou uma estrutura que denominou de núcleo:

> Vou concluir meus comentários sobre *Orchideae* com um alerta sobre alguns pontos da estrutura geral delas, que dizem respeito principalmente ao tecido celular. Em cada célula da epiderme de uma grande parte desta família, especialmente daquelas com folhas membranosas, uma única aréola, geralmente pouco mais opaca que a membrana da célula, é observável. Esta aréola, que é mais ou menos distintamente granular, é levemente convexa, e embora pareça estar na superfície na realidade está coberta por outra camada de células. Não existe uma regularidade quanto ao seu lugar na célula; entretanto é freqüentemente central ou quase isso.
>
> Essa aréola, ou núcleo da célula como talvez possa ser cunhado, não está confinada à epiderme (Brown, 1833, p. 710).

As descrições de Brown eram detalhadas e precisas. Ele percebeu a presença do núcleo, não somente nas células da epiderme, mas também em células internas do tecido. Inclusive, descreveu e diferenciou as formas características dessa estrutura, de acordo com o tecido ou tipo celular em que esta se encontrava. Nas células comprimidas da epiderme, apresentava-se em um correspondente grau de achatamento. Nos tecidos internos havia por sua vez, frequentemente, uma forma semelhante à esférica, estando aderido à parede e projetado para o interior celular.

---

[3] A terminação para famílias de plantas, de acordo com a nomenclatura utilizada atualmente, é *aceae*, deste modo, as famílias tratadas nesse texto são hoje denominadas *Orchidaceae* e *Asclepidaceae*.

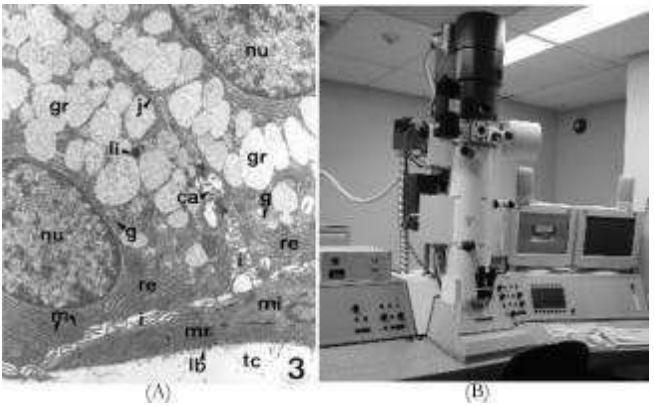



**Figura 3.** Em (A), células seromucosas mostrando, em sua base, parte de uma célula mioepitelial (mi); canalículos intercelulares (ca); complexo golgience (g); secreção granular (gr); interdigitações basolaterais s (i); junção intercelular (j); lâmina basal (lb); miofilamentos contráteis (mr); mitocôndria(m); núcleo (nu); retículo endoplasmático rugoso(re); tecido conjuntivo (tc). 10000x. (Tirapelli, 2002, p.7). Em (B), exemplar de um microscópio eletrônico de transmissão. Fonte:
<www.physics.uoguelph.ca/psi/cryotem.shtml>.

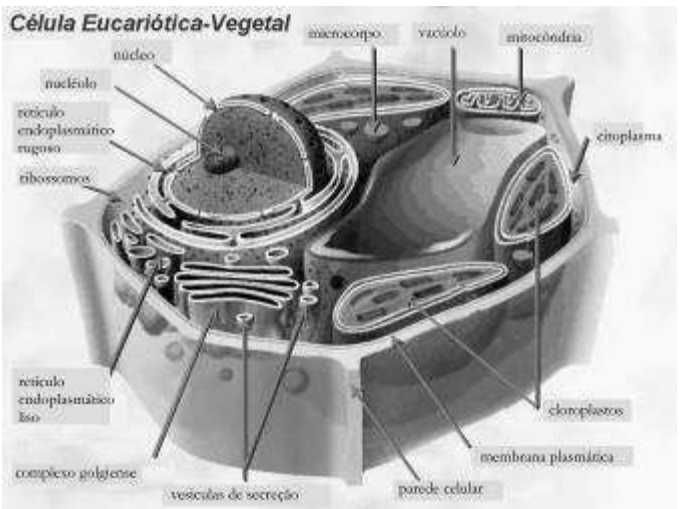



**Figura 4.** Esquema didático de uma célula vegetal. Imagem obtida em: www.extremekit.com.br/biologia_img/celular_eucariotica_vegetal.jpg

Além de descrever a presença do núcleo em diversos tecidos de *Orchidaceae*, Brown também diz ter encontrado essa estrutura em muitas outras famílias de plantas. É interessante o fato de Brown ter relatado que, em outras pesquisas relacionadas à botânica, o núcleo já havia sido percebido, aparecendo, principalmente, em imagens referentes à epiderme. No entanto, acrescentou que pouca importância parece ter sido dada a essa estrutura, uma vez que ela não era contemplada nas explicações das figuras em que estava inserida.

Considerando que os estudos de Brown consistiram em visualizações microscópicas minuciosas e que, para tanto, utilizou microscópios considerados, atualmente, rudimentares (Figura 2B), questões relativas às observações descritas por Brown surgiram. Seriam estas realmente possíveis, e como teriam sido feitas?

Desde a comemoração do centenário (1931) da apresentação dos trabalhos de Brown de 1831, pairam dúvidas acerca de suas observações. Talvez elas permaneçam até os dias de hoje. O químico Daniel Deutsch, de Pasadena, Califórnia, publicou uma nota que apontava aspectos contrários aos resultados descritos por Brown referentes ao denominado Movimento Browniano[4] (Deutsch, 1991). Tais observações foram obtidas a partir da utilização dos microscópios disponíveis em sua época (Figura 2B). Em 1992, Ford respondeu à nota, reportando que havia reproduzido as mesmas condições de observação de Robert Brown e que seus resultados foram compatíveis com os originais (Ford, 1992, p. 265). Porém, não sabemos se as dúvidas a esse respeito foram de fato solucionadas.

Estas dúvidas sobre a observação feita por Brown devem-se ao fenômeno denominado aberração cromática. Quando uma luz branca atravessa uma lente, observamos que as extremidades da imagem aparecem coloridas. Este fenômeno ocorre porque a luz branca é composta por diversos comprimentos de onda. Para cada

[4] De acordo com Ford, o movimento browniano refere-se ao movimento ondulatório e aleatório de minúsculas partículas suspensas em fluídos (Ford, 1982). Embora Robert Brown não tenha sido o primeiro a observar esse fenômeno, seu nome tornou-se permanentemente ligado a ele.

comprimento de onda, a lente possui um foco. Este problema somente pode ser reduzido, ou eliminado, combinando-se lentes de materiais diferentes. Como Brown utilizou um microscópio de uma única lente, a aberração cromática, mesmo que de forma reduzida, estava presente. Isso dificultava as observações porque a imagem observada aparece com uma borda colorida.

Com relação às questões acerca da possível visualização do núcleo, em 1982, Ford publicou um artigo em que pormenorizou a reconstrução de algumas importantes observações feitas por Robert Brown, especificamente a descrição do núcleo celular. Ele buscou simular todas as condições presentes no contexto experimental de Brown, que incluíram o uso do mesmo microscópio, tipos de materiais biológicos e método de preparo. Para isso, realizou um estudo investigativo com a finalidade de conhecer qual teria sido o microscópio utilizado por Brown em seus estudos.

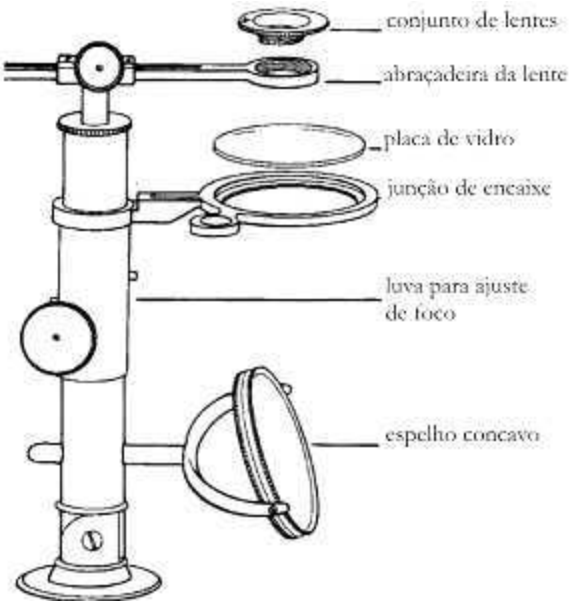



**Figura 5:** Microscópio de Brown em posse da *Linnean Society of London,* mostrado de forma esquemática. Imagem obtida do trabalho de Ford. As legendas foram alteradas para o português (Ford, 1982, p.283).

Ford relatou em seu artigo de 1982, que havia dois microscópios pertencentes a Brown, ambos produzidos por Joseph Banks. Um se encontrava sob os cuidados da *Linnean Society of London* (Figura 5) e o outro fazia parte da coleção botânica do herbário do *Royal Botanical Gardens* (Figura 6). Brown havia citado em seu trabalho sobre a observação do núcleo, que fora Banks quem havia construído o instrumento ótico utilizado. Restava estudar melhor a qual dos dois microscópios citados acima Brown se referia.

O manuseio e a análise detalhada de todas as peças que compunham os dois microscópios permitiram a Ford concluir que o mais adequado para a reconstrução dos experimentos originais de Brown era aquele encontrado na *Linnean Society of London.* O microscópio de *Kew* apresentava uma imagem indistinguível e embaçada, devido à superfície danificada de suas lentes.

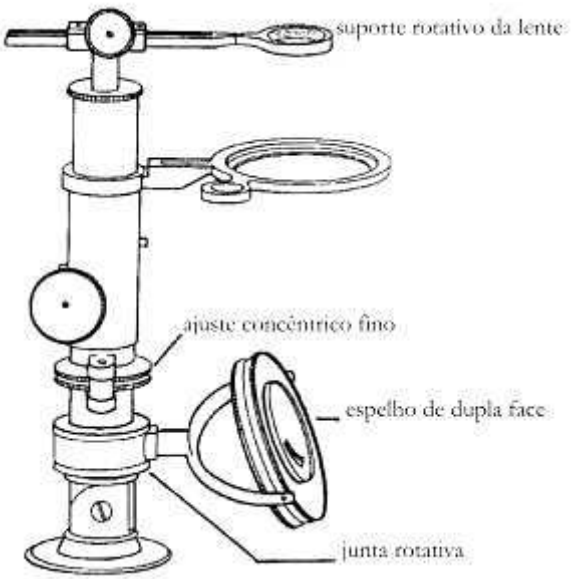



**Figura 6:** Microscópio de Brown, construído por Bancks, pertencente à coleção do *Kew Herbarium Royal Botanical Gardens*. Imagem obtida do trabalho de Ford. As legendas foram alteradas para o português (Ford, 1982, p. 283).

Retomando à comparação entre as imagens, a Figura 3A mostra uma fotografia obtida a partir do exame de material de células seromucosas, em microscópio eletrônico de varredura. Um modelo deste está exposto na Figura 3B. Na Figura 3A, podemos constatar uma riqueza de detalhes sobre os componentes celulares. Notamos muitas semelhanças entre elas e as estruturas presentes no esquema didático da Figura 4. Podemos concluir então, que os esquemas didáticos correspondem à imagem obtida a partir da visualização das estruturas em microscópio eletrônico, que só foi possível a partir da primeira metade do século XX.

Tendo em vista as considerações anteriores, bem como a reflexão proposta no início do texto, perguntamos: É possível, olhando para o esquema da Figura 4, perceber as diversas pesquisas científicas que contribuíram para a sua elaboração? Por exemplo, conseguimos reconhecer o trabalho de Brown e sua importância observando a representação didática, apenas? A resposta às perguntas é a mesma: não. Esperamos que você questione outros esquemas didáticos presentes nos livros, uma vez que, estes (assim como o modelo de célula atualmente aceito) são decorrentes, invariavelmente, de uma rede de pesquisas que contribuíram para a produção de um determinado conhecimento científico.

## 3 PROPOSTA DIDÁTICA PARA OS PROFESSORES

Os problemas mais comuns encontrados nos livros didáticos de Biologia, relacionados ao conteúdo de citologia, referem-se às representações didáticas descontextualizadas das estruturas celulares. De maneira geral, a base para a explicação de uma estrutura celular é um esquema didático, colorido e ampliado, que raramente coincide com a imagem observada ao microscópio óptico. Via de regra, ele deveria estar presente nos laboratórios de ciências das escolas. Sendo assim, embora haja nos livros didáticos, um item específico apresentando os vários tipos de microscópios e suas resoluções, os modelos das estruturas celulares, (mostrados em outros tópicos) não refletem o que o aluno visualizaria ao microscópio escolar ao observar um tecido celular. Sob esse aspecto, ressaltamos o desapontamento dos alunos quando se deparam com a imagem observada ao instrumento óptico de um material celular preparado a partir de técnicas histológicas. Em geral, visua-

liza-se um aglomerado de compartimentos estáticos, com manchas claras e escuras, referentes às reações dos corantes com as estruturas e substâncias presentes nas células.

Notamos que o conteúdo de determinada estrutura celular apresentado nos livros didáticos de Biologia não está contextualizado historicamente. Prioriza-se a função desempenhada pela estrutura em detrimento de informações sobre os procedimentos científicos. Além das técnicas empregadas que levaram à sua observação, bem como sua relação com as demais estruturas celulares e com o organismo como um todo.

Nesta proposta, discutimos a identificação do núcleo em plantas (*Orchidaceae*), realizada por Robert Brown no século XIX; as dúvidas que permeiam essa questão; a reconstrução das observações originais de Brown e o significado da palavra descoberta, no contexto científico. Por fim, apresentamos um quadro de integração de conteúdos, como uma possível forma de abordagem de diversos temas que podem ser explorados a partir do trabalho de Robert Brown.

A problematização inicial do texto direcionado ao aluno é a exposição de várias imagens, obtidas em diferentes períodos e com o uso de microscópios que possuem resoluções distintas. A nossa intenção é promover o entendimento do processo de construção do conhecimento científico, baseado não somente nas imagens, mas na noção de que o desenvolvimento de teorias e técnicas foi necessário para obtê-las. Nesse caso, é conveniente discutir alguns aspectos da microscopia, principalmente aqueles relacionados à identificação do núcleo.

As dúvidas sobre o microscópio utilizado por Brown ter, de fato, possibilitado a visualização de estruturas e fenômenos por ele descritos nos instigaram a inserir no texto do aluno comentários sobre a reprodução dos experimentos de Brown, realizada por Ford (1982). Quais os motivos que conduziram a estas dúvidas?

Na época em que Brown realizou seus experimentos, havia dois tipos de microscópios disponíveis, o composto e o simples. O primeiro foi desenvolvido no século XVII e utilizado por Robert Hooke. Este era constituído por duas lentes combinadas que, embora possibilitassem um aumento maior que o microscópio simples (constituído por uma única lente), produzia distorções ópticas relacionadas às aberrações esférica e cromática. A primei-

ra, de acordo com Anne Louise Mylott, ocorre porque os raios de luz, próximos do centro das lentes, refratam menos do que aqueles próximos da borda (Mylott, 2002, p. 4). A segunda aberração deve-se ao fato de os comprimentos de ondas de luz mais curtos refratarem mais em relação àqueles mais longos. Então, os objetos parecem estar cercados por um halo colorido, similar a um arco-íris. Assim, embora os microscópios compostos possibilitassem ganhos na ampliação dos objetos, estes eram sobrepujados pelas perdas no poder de resolução. Para Mylott, "Estes problemas conduziram alguns microscopistas a aderirem aos instrumentos de lente simples, apesar de sua magnificação inferior e dificuldade de uso" (Mylott, 2002, pp. 4-5). Contudo, lembramos que os microscópios simples também possuem problemas com aberrações esférica e cromática, mesmo que reduzidas.

Por volta da metade do século XVIII, alguns fabricantes de telescópios, constataram que a combinação de lentes feitas com diferentes tipos de vidros resultava em uma redução nos problemas cromáticos. No entanto, a obtenção desses resultados era difícil quando se tratava das lentes finas dos microscópios. Além disso, a aberração esférica não era eliminada. Jean Baptista Amici, em torno de 1820, produziu e aprimorou um microscópio refletor. Posteriormente, em 1830, Joseph Jackson Lister desenvolveu métodos para calcular de que forma fazer lentes que corrigissem a aberração esférica. Isso possibilitou a produção de microscópios compostos utilizáveis, fabricados "em quantidades suficientes que puderam ser regularmente usados por pesquisadores e ainda estudantes" (Mylott, 2002, p. 5).

Retomando a discussão sobre as dúvidas que envolvem as observações efetuadas por Brown no século XVIII, salientamos que as fontes por nós consultadas, entre elas Ford (1982) e Mylott (2002), nos permitem assegurar que Robert Brown, em seus estudos de 1831 sobre a identificação do núcleo celular, utilizou um instrumento óptico simples. Isso sugere que naquele período, as aberrações esférica e cromática dos microscópios compostos, reconhecidamente melhores em relação ao poder de ampliação, ainda não haviam sido completamente solucionadas. Ressaltamos ainda, que o químico Daniel Deutsch, ao sugerir que Brown provavelmente não teria observado o movimento browniano, apontou, como um dos motivos, o fato de ele ter utilizado um micros-

cópio composto e, portanto, sujeito à aberração cromática (Deutsch, 1991). É provável que Deustch tenha feito essas considerações porque Robert Brown em seus artigos não deixa claro o microscópio utilizado para suas observações e também por ser comum no período em que Brown desenvolveu seus trabalhos a utilização de microscópio composto, uma vez que, como mencionado anteriormente, este permitia uma ganho em termos de ampliação do material visualizado. Mas, conforme Mylott, quando Robert Brown observou o "movimento browniano, os tubos polínicos ou os núcleos celulares, ele utilizou lente simples com ampliação de 300 vezes" (Mylott, 2002, p. 6). Como já mencionado, o uso do microscópio simples reduz as aberrações esférica e cromática. Os resultados obtidos por Ford, a partir da reconstrução dos experimentos de Brown, utilizando microscópio simples, foram compatíveis com as descrições das observações realizadas por este último.

Além dos problemas relacionados às lentes, outra questão sobre as dúvidas acerca das observações de Robert Brown diz respeito às dificuldades para observação de tecidos ao microscópio óptico, uma vez que, a maioria deles é incolor. No caso do núcleo, Joseph Von Gerlach (1820-1895), em 1858, percebeu que uma solução diluída de carmim poderia corar o núcleo mais intensamente que o citoplasma. Essa substância é derivada de corpos secos de fêmeas do inseto denominado *Coccus cacti* que vive nas plantas de cactos na América Central e no sudoeste dos Estados Unidos. Como Brown realizou seus estudos sobre o núcleo em 1831, ele não teve acesso a esse recurso (Moore, 1986).

Convém lembrar que os corantes são misturas de substâncias químicas utilizadas para tornar os componentes celulares visíveis e destacados uns dos outros. De maneira simplificada, sabemos hoje, os corantes agem como ácidos ou bases. Os tecidos que se coram com corantes básicos são denominados basófilos, enquanto que, aqueles que se ligam aos corantes ácidos são chamados de acidófilos. Por exemplo, o núcleo é constituído por substâncias ácidas (ácidos nucléicos, heterocromatina e nucléolo) que possuem afinidades com corantes básicos. Atualmente, um procedimento corriqueiro para coloração do núcleo e citoplasma utiliza hematoxilina (corante básico) e eosina (corante ácido), respectivamente.

O artigo de 1831 *Sobre os órgãos e modo de fecundação em* Orchideae *e* Asclepiadeae, de Robert Brown[5], relaciona-se à descrição de estruturas que compõem o sistema reprodutor e à compreensão de como ocorre a fecundação em plantas dessas famílias. Ressaltamos que o aparato reprodutor delas é bastante peculiar. É provável que Brown tivesse se interessado pelo estudo dessas estruturas, justamente por apresentarem modificações que as distinguiam de outras.

Em virtude de nossa proposta estar centrada no núcleo celular, vamos nos ater mais detalhadamente aos aspectos que envolvem essa temática. Quanto à identificação do núcleo, destacamos a seguinte frase:

> Umas poucas indicações da presença deste núcleo, ou auréola, que eu tenho até aqui encontrado nas publicações de botânicos, estão principalmente em algumas figuras de epiderme, nos recentes trabalhos de Meyen e Purkinje, e em um caso, na biografia de M. Adolphe Brongniart, acerca da estrutura das folhas. Mas tão pouca importância parece ter sido dada a ela, que sua presença não é sempre referida nas explicações das figuras em que está representada (Brown, 1833, p. 713).

A partir dessa citação, entendemos que outros botânicos já haviam registrado a presença do núcleo em suas observações. Isso indica que o interesse despertado por Brown sobre essa estrutura não ocorreu de forma inesperada, mas foi decorrente de sua habilidade em questionar o que fora apresentado em estudos anteriores, porém, não explorado.

Ressaltamos que Brown descreveu a estrutura por ele denominada de núcleo, sem preocupar-se em estudar sua função. Normalmente, os livros didáticos enfatizam as funções desempenhadas pelo núcleo, sem mencionar que seu estabelecimento foi devido a diversos estudos ocorridos ao longo do tempo. Temos a

[5] Como mencionado no texto para os alunos, este artigo foi originalmente publicado em 1831 e re-impresso com pequenas revisões na *Transaction of the Linnean Society of London,* em 1833. O artigo da *Transaction* foi re-impresso em *the miscellaneous botanical works of Robert Brown,* publicado pela *Ray Society,* em 1866. Neste trabalho utilizamos o artigo re-impresso datado de 1833.

impressão que a identificação do núcleo e o estudo de suas funções aconteceram concomitantemente. Além disso, a maneira como o conteúdo é abordado reforça a idéia da Ciência como um produto acabado, já que as funções do núcleo são apresentadas como sendo completamente esclarecidas, e não como objeto de estudo de pesquisas atuais.

Realizamos uma análise em livros didáticos de Biologia indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – PNLEM/2009, em relação, principalmente, à identificação do núcleo. No decorrer do texto, discutiremos trechos retirados dos livros selecionados para exemplificar equívocos e distorções históricas sobre a temática do nosso estudo. O primeiro exemplo a ser mencionado, diz respeito às conjecturas que Brown realizou mediante aos seus estudos.

> Em 1833, o pesquisador escocês Robert Brown [...] lançou a hipótese de que essa estrutura era um componente importante e fundamental da célula. Ele a denominou **núcleo**, termo derivado da palavra grega *nux*, que significa semente, por considerar que essa estrutura devia ser uma parte tão essencial para a célula quanto a semente é para o fruto. Desde então, os biólogos passaram a admitir que todas as células têm três partes fundamentais: membrana plasmática, citoplasma e núcleo[6].

Conforme já citamos, Robert Brown limitou-se à descrição da estrutura, no caso, o núcleo. Em nenhum momento, em seu artigo original, ele fez conjecturas sobre a importância ou a função do núcleo celular. Sobre esse aspecto, a autoria da analogia que considera que a semente é tão essencial para o fruto quanto o núcleo é para a célula, é questionável, o mesmo vale para a admissão, a partir dos estudos de Brown, do núcleo como uma de suas das partes fundamentais.

Assim como a descrição do núcleo em células da epiderme, a regularidade sobre a presença dessa estrutura em diversas partes da planta e em várias espécies vegetais, observada por Brown,

[6] Nesta e nas seguintes citações de livros didáticos, optamos por omitir os nomes dos autores.

merece atenção. Essa discussão relaciona-se ao caráter universal do núcleo, ou seja, a sua presença em todos os tecidos de todos os seres vivos[7]. Esta idéia não estava presente na época em que Brown realizou seus trabalhos. No entanto, ele salientou que: "Esse núcleo da célula não está confinado a *Orchideae*, mas é igualmente manifesto em muitas outras famílias de Monocotiledôneas" (Brown, 1833, p. 712).

O núcleo também foi observado em glândulas cutâneas que, no período das observações de Brown, já eram denominadas de estômatos. Brown sempre observava núcleos duplos, isto é, um em cada lado das partes que compõem essas estruturas. Ele sugeriu que cada estômato era formado por duas células arranjadas de forma característica, cuja linha de união entre elas formava o eixo longitudinal do poro (Figura 2A).

É provável que a regularidade da presença do núcleo detectada por Brown tenha despertado o interesse de outros pesquisadores para o estudo mais aprofundado dessa estrutura. As observações de Brown foram importantes para desencadear trabalhos posteriores sobre a Teoria Celular. Wiliam Locy comentou que:

> A descoberta do núcleo nas células vegetais por Robert Brown em 1831 foi um passo preliminar importante para o trabalho de Shleiden, visto que os últimos apreendidos sobre o núcleo colocam-no como o ponto de partida das novas células. Ele mudou o nome do núcleo para citoblasto, e supôs que a nova célula iniciava-se como uma pequena bolha em um lado do núcleo, e pela expansão contínua crescia no interior da célula, o núcleo, ou citoblasto, torna-se encaixado na parede celular. Tudo isto foi mostrado por Nägeli e outros botânicos estar errado; mas ainda assim, curiosamente o suficiente, foi graças à ajuda destas falsas observações que Schwann chegou as suas conclusões gerais (Locy, p. 243, 1908).

No que se refere ao final da citação anterior, Stephenson ressaltou que a teoria de Theodor Schwann (1839) sobre a origem das células, é em parte, uma extensão da tese de Matthias Shleiden

[7] Lembramos que no tecido sangüíneo há células (hemácias) que não apresentam núcleo.

(1839) e, portanto, igualmente "errônea" (Stephenson, 1931). A associação exclusiva dos nomes de Shleiden e Schwann à Teoria Celular se deve ao fato deste último ter sido o primeiro a utilizar essa expressão. Então, "Nesse sentido indubitavelmente a suposição que como ele originou o nome, ele também originou a coisa" (Stephenson, 1931, p. 53). Salientou ainda que: "A Teoria Celular deve a sua existência não a um único homem; muitos pesquisadores juntaram-se para construí-la; mas se alguns nomes são especialmente associados a ela, não deveria ser alguém que apareceu no cenário pela primeira vez, em 1838" (Stephenson, 1931, p. 49). No final de suas considerações, sugeriu o reconhecimento de Robert Brown entre os construtores da Teoria Celular.

Salientamos que nem todos os historiadores da Ciência creditam a Robert Brown um papel fulcral na construção da Teoria Celular. É o caso, por exemplo, de Myllot. Segundo ela,

> Brown viu o núcleo em muitas células, porém ele não fez uma afirmação universal sobre isso em todas as células. Seu artigo não envolveu nenhuma teoria celular, nenhuma teoria de alguma unidade de estrutura ou função. A monografia de Brown não deu indicação de que algo como a teoria celular apresentava alguma função em suas investigações. Ele não descreveu processos ao nível celular, nem mesmo descreveu estruturas como feitas de células. É esta ausência de alguma teoria da célula-como-unidade-da-vida em sua pesquisa que me conduz a acreditar que Brown realmente não estava pensando em termos da célula nucleada como unidade fundamental. Schleiden daria ao núcleo um papel fisiológico essencial na unidade da vida (Myllot, 2002, p. 216).

Em um dos livros analisados, a identificação do núcleo está inserida no capítulo "A descoberta da célula". Os autores discutem, inicialmente, a importância do microscópio para o desenvolvimento da Biologia. Em seguida, as observações de Hooke são abordadas e, no próximo item, é apresentada a Teoria Celular. Em virtude do nosso foco de estudo, não detalharemos as questões que envolvem as temáticas anteriormente mencionadas. Chamamos a atenção, no entanto, para o fato de que esse mesmo livro faz menção à identificação do núcleo no item posterior àquele que aborda a Teoria Celular. Embora as datas dos respectivos trabalhos sejam citadas, essa forma de apresentação, aparentemente,

desvincula o trabalho de Robert Brown daqueles que contribuíram para a elaboração da Teoria Celular.

Cabe aqui uma discussão sobre a complexidade envolvida na identificação de um fenômeno, ou de uma estrutura nova e na dificuldade em creditá-la a uma só pessoa, ou a um grupo delas. Por exemplo, a palavra "descoberta" é de uso frequente não somente nos livros didáticos, mas nos textos de divulgação científica em geral. A seguir, alguns exemplos do uso da palavra, encontrados em livros didáticos que analisamos:

> Mais tarde, 1665, o inglês Robert Hooke [...] publicou suas observações de estruturas visíveis ao microscópio de luz [...]. Essas observações lhe valeram o crédito de *descobridor* das células [grifos nossos].
>
> Em 1831, Robert Brown *descobriu* o núcleo celular [grifos nossos].

É importante sermos cautelosos ao utilizar a palavra *descoberta*. Podemos dizer que Robert Hooke não descobriu a célula, pois, embora tenha chamado a estrutura que visualizou de célula, assim como de outras denominações, o que ele descobriu foram "caixas cheias de ar que explicavam a leveza e flexibilidade da cortiça", algo bastante diferente do que mais tarde veio a ser estabelecido como a "célula" dos seres vivos. Por sua vez, talvez possamos dizer que Robert Brown "descobriu" o núcleo, ou seja, cunhou o termo para a estrutura que até hoje reconhecemos como tal na célula, mesmo não tendo estabelecido uma função universal e indispensável. Pelo mesmo raciocínio, podemos dizer que um botânico quando, em uma pesquisa de campo, identifica uma nova espécie vegetal, ele a "descobriu".

Lembramos que Martins é cauteloso com relação à atribuição do mérito científico a um indivíduo. Segundo ele, "atribuir um descobrimento científico a um indivíduo, quer dizer, atribuir-lhe um mérito científico, e qualquer discussão como essa termina vinculada a outros valores (que não são científicos)" (Martins, 1999, p. 281). Para Aaron J. Ihde, na História da Ciência, há numerosos exemplos de descobertas realizadas simultaneamente por dois, ou mais, pesquisadores trabalhando independentemente (Ihde, 1948, p. 427). Isso nos leva à questão da prioridade, ou seja, a quem devemos creditar a descoberta do núcleo: A Robert Brown, ou a pesquisadores anteriores, que também visualizaram o

núcleo, conforme ele mesmo admitiu[8]? Robert Brown descreveu e nomeou a estrutura observada, enquanto que os outros pesquisadores simplesmente registraram sua presença. Talvez, por este motivo, seja creditada a Robert Brown a "descoberta do núcleo".

Um segundo significado da palavra *descoberta* está relacionado a uma construção teórica sobre o núcleo, o que envolve não somente a sua visualização, mas o seu papel na célula. Ihde mencionou que "quando uma época é oportuna, certa descoberta torna-se, então, inevitável" (Ihde, 1948, p. 427). Ele levantou a seguinte questão: Em que se constitui essa oportunidade? Para discuti-la, sugeriu três respostas:

> 1) Uma necessidade tem sido levantada, então uma pesquisa é empreendida para saciar aquela necessidade.
>
> 2) Os gênios com a percepção apropriada para o problema têm alcançado sua maturidade.
>
> 3) O acúmulo de bases fundamentais do conhecimento necessárias a uma descoberta (Ihde, 1948, p. 427).

As duas primeiras foram contestadas pelo autor por meio de vários exemplos, evidenciando que esses dois fatores não são imprescindíveis para uma descoberta científica. Um dos aspectos que Ihde ressaltou é que a necessidade não conduz a soluções de problemas (invenções ou descobertas). Ela somente direciona a atenção para esses problemas. Um exemplo atual é a busca pela cura de certas doenças. Temos a necessidade em encontrá-las, mas ainda não conseguimos. Sob outro aspecto, muitas pesquisas básicas, sem aplicações práticas imediatas, podem tornar-se importantes para resolver parte de nossas necessidades.

---

[8] "Umas poucas indicações da presença deste núcleo, ou auréola, que eu tenho até aqui encontrado nas publicações de botânicos, estão principalmente em algumas figuras de epiderme, nos recentes trabalhos de Meyen e Purkinje, e em um caso, na biografia de M. Adolphe Brongniart, acerca da estrutura das folhas. Mas tão pouca importância parece ter sido dada a ela, que sua presença não é sempre referida nas explicações das figuras em que está representada" (Brown, 1833, p. 713).

Em relação à possibilidade número dois, é interessante pensar nas várias descobertas realizadas simultaneamente e independentemente, por dois ou mais pesquisadores; nos exemplos de construção de conhecimentos exercidos como resultado de uma grande persistência por parte do pesquisador (e não por meio de idéias inesperadas e brilhantes), bem como naqueles indivíduos que somente realizaram uma única importante descoberta (uma vez que, se pensássemos em termos de genialidade, suas habilidades o conduziriam a inúmeras descobertas fenomenais).

A discussão de Ihde sobre o terceiro item envolveu o caráter coletivo da descoberta científica. A construção do conhecimento científico envolve a participação de diversos pesquisadores, por isso a dificuldade em atribuir a um único indivíduo o mérito de uma descoberta. Por exemplo, a elucidação das funções desempenhadas pelo núcleo, possui a contribuição de Robert Brown, que chamou a atenção para a estrutura, de Schwann e Shleiden, com a proposta da Teoria Celular, e de tantas outras. Essas contribuições individuais permitiram o entendimento que temos hoje sobre o funcionamento do núcleo.

Sobre o sentido da palavra descoberta, quando dizemos que Robert Brown descobriu o núcleo, devemos ter em mente que ele observou uma estrutura para a qual atribuiu uma função importante, ainda que não universal e necessária para a célula. Ou seja, não se deve atribuir à palavra núcleo em Brown a idéia que temos hoje, como uma estrutura que comanda funções essenciais da célula.

A reprodução das observações de Brown, realizada por Ford, foi inserida propositalmente no texto do aluno, com base na idéia contida no seguinte trecho:

> Destacamos o papel dos centros e museus de Ciências nesse processo a partir das reconstruções de equipamentos científicos antigos. Essas reconstruções têm várias finalidades. A nosso ver, a principal delas é compreender como um grupo específico de cientistas construiu um determinado conhecimento. Essa atividade não envolve somente a elaboração do equipamento, mas inclui todo o trabalho teórico e metodológico dos cientistas (Araújo, Caluzi, Caldeira, 2006, p. 30-31).

A reconstrução dos experimentos originais sobre o núcleo permitiu identificar de que maneira o microscópio foi utilizado nas observações nessa etapa da pesquisa de Brown. O mesmo ocorreu quanto aos métodos e metodologia mais adequados e prováveis de preparação dos materiais utilizados. Isso foi fundamental para a obtenção de resultados confiáveis. Vários métodos poderiam ser empregados para a análise de materiais ao microscópio utilizado por Brown e examinado por Ford. Porém, o mais adequado para o estudo em questão foi a preparação a fresco do material, que incluíam porções da epiderme de exemplares dos gêneros *Tradescantia, Cymbidium e Lycaste*, sendo os dois últimos pertencentes à família *Orchideae* (orquídeas). A partir da preparação do material e sua visualização ao microscópio utilizado por Brown, Ford obteve imagens claras de componentes celulares, entre elas, o núcleo, conforme Figura 2A. Verificando, deste modo, que era possível a observação dessa estrutura com o uso do instrumento óptico considerado rudimentar.

Destacamos o extenso trabalho de Ford para a reprodução das observações de Brown, bem como, as dificuldades de acesso aos microscópios. Sua utilização envolveu questões burocráticas, uma vez que ambos estavam preservados em instituições e, como em qualquer processo de experimentação, havia o risco de danificação dos instrumentos. Ford analisou cuidadosamente todas as peças que os compunha para selecionar o mais adequado ao objetivo proposto. Para isso, conhecimentos de física, como por exemplo, óptica, foram fundamentais, como também conhecimentos sobre botânica, histologia e citologia. Isso evidencia a amplitude da pesquisa teórica subjacente às observações e o caráter integrado da construção do conhecimento científico.

Imaginemos agora, a importância do trabalho de Brown realizado no século XIX, que, com a utilização de instrumentos e técnicas disponíveis na época, forneceu um considerável impulso para o desenvolvimento da teoria celular e, conseqüentemente, para o entendimento de diversas questões biológicas.

Como vimos neste trabalho, o desenvolvimento da Ciência é muito mais rico do que apresentado nos livros didáticos. Uma questão pertinente é: Como adequar a abordagem histórica dos conteúdos à estrutura presente nos livros didáticos? A nosso ver, a simples inserção de informações históricas descontextualizadas, na

forma de leitura complementar, além de aumentar sobremaneira o número de páginas do livro didático, pouco contribui para o entendimento do processo de construção do conhecimento científico.

Para uma adequada integração de aspectos históricos aos conteúdos escolares, é necessário uma ruptura com a estrutura estática presente na maioria dos livros didáticos. Assim, sugerimos, que ao abordar de forma histórica a identificação do núcleo, o texto apresentado anteriormente seja o eixo norteador de discussão em sala de aula. Essa estratégia proporciona estabelecer relações entre diversas temáticas, como por exemplo, botânica, citologia e microscopia, normalmente expostas de forma fragmentada. Nessa perspectiva, o livro didático que, na maioria das vezes, é utilizado como principal fonte de informação dos alunos e professores, desloca-se do centro e assume a posição de apoio para outras estratégias de ensino.

A Figura 7 sumariza nossas idéias acerca de uma possível integração de conteúdos, tendo como eixo central uma abordagem histórica da identificação do núcleo.

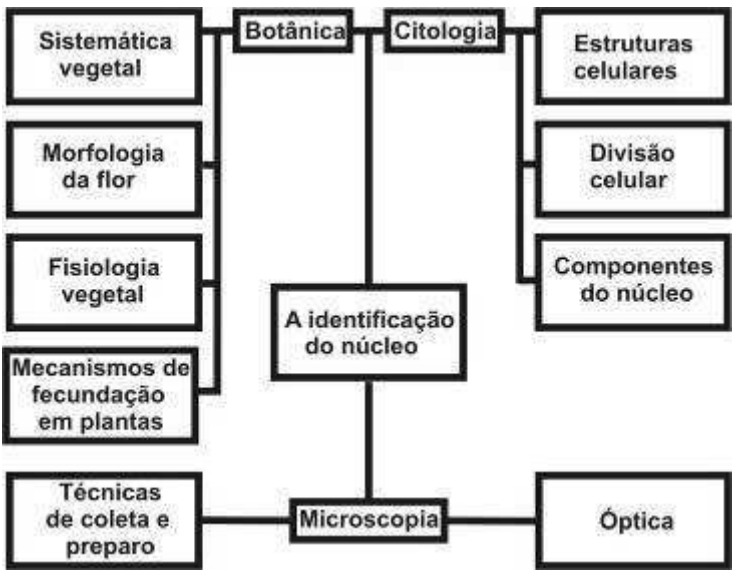



**Figura 7**: Esquema didático

As possibilidades de abordagem de conteúdos referentes ao núcleo são muitas. O esquema que propomos representa uma rede de possibilidades de interação de alguns conteúdos abordados no Ensino Médio, vinculados ao texto didático que elaboramos. Ressaltamos que o fluxo das idéias contidas nesse diagrama é dinâmico, portanto, o professor tem autonomia para selecionar os aspectos que julgar convenientes de serem abordados em determinado momento. De acordo com a temática enfatizada, alterações nas inter-relações podem ser realizadas, bem como o acréscimo de outros textos históricos.

Os conteúdos inseridos na Figura 7 foram sugeridos em virtude de estarem presentes e serem necessários para o entendimento do estudo de Brown sobre a identificação do núcleo, que é o tema central da nossa proposta. Lembramos que o uso do microscópio foi fundamental para o desenvolvimento da ciência e dos conhecimentos sobre a célula e suas estruturas. O aprimoramento de técnicas histológicas, bem como da óptica, permitiu um avanço nos estudos de botânica, citologia, citogenética, entre outros. Assim, a microscopia abrange praticamente todos os conteúdos contidos no esquema da Figura 7, podendo também ser utilizado como um eixo norteador da discussão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ARAUJO, Elaine S. N. N. de; CALUZI, João José; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Divulgação e cultura científica. Pp. 15-34, *in*: ARAÚJO, Elaine S. N. N. de; CALUZI, João José; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. *Divulgação científica e ensino de ciências*: *estudos e experiências*. São Paulo: Escrituras, 2006.

BROWN, Robert. On the organs and mode of fecundation in Orchideae and Asclepiadeae. *The Transactions of the Linnean Society of London* **16**: 685-745, 1833.

DEUTSCH, Daniel H. Did Robert Brown observe Brownian motion? probably not. *Bulletin of the American Physical Society* **36**: 1374-1382, 1991.

FORD, Brian, J. The nucleus and the simple microscope. *Journal of Biological Education* **16** (4): 281-285, 1982.

———. Brown's observations confirmed. *Nature* **359**: 265, 1992.

———. The Royal Society and the microscope. *Notes and Records of the Royal Society of London* **55** (1): 29-49, 2001.

HOOKE, Robert. *Micrographia or Some physiological descriptions of minutes bodies made by magnifying glasses: with observations and inquiries thereupon*. London: Jo. Martyn and Ja. Allestry, 1665.

IHDE, Aaron J. The inevitability of scientific discovery. *Annual Meeting of the Wisconsin Academy of Science, Arts and Letters* : 427-429, 1948.

LOCY, William. *Biology and its makers*. 3. ed. New York: Henry Holt and Company, 1908.

MARTINS, Roberto de Andrade. Que es el descubrimiento científico de un nuevo fenómeno? Vol. 5, pp. 281-288, *in*: SOTA, Eduardo; URTUBEY, Luis (eds.). *Epistemología e Historia de La Ciencia. Selección de Trabajos de las IX Jornadas. Facultad de Filosofía y Humanidades.* Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 1999.

MYLOTT, Anne Louise. *The roofs of cell theory in Sap, Spores, and Schleiden*. Bloomington, 2002. Tese (Doutorado em Filosofia). Departamento de História e Filosofia da Ciência, Indiana University.

STEPHENSON, J. Robert Brown's discovery of the nucleus in relation to the history of the cell theory. *Proceedings of the Linnean Society of London* **vol**: 45-54, 1931-1932.

TIRAPELLI, Luis Fernando; TIRAPELLI, Daniela ; CUNHA, Petri da; TAMEGA, José Oisenyl. Ultrastructural alterations in submandibular glands of rats (*Rattus norvegicus*) submitted to experimental chronic alcoholism. *Revista Chilena de Anatomia* **20** (1): 5-12, 2002.

# O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade

**Gilberto Oliveira Brandão ***
**Louise Brandes Moura Ferreira ****

**Resumo**: O ensino de Genética no nível médio é geralmente dividido em Genética Clássica e Genética Molecular. Ao iniciar a parte Clássica é costume fazer uma abordagem histórica do conteúdo, apresentando Gregor Mendel como o monge isolado fundador da disciplina e seus experimentos como marco inicial da Genética. O objetivo do presente texto é contextualizar o período histórico e o ambiente acadêmico no qual Mendel desenvolveu e conduziu seus experimentos, bem como discutir e problematizar conceitos que são apresentados por ele em seu trabalho e que não são contemplados em sala de aula. Mendel estava inserido tanto num ambiente acadêmico altamente sofisticado quanto no contexto econômico e cultural da tradição dos hibridizadores da Morávia do Século XIX. No *Experimentos em hibridização de plantas* de 1866, Mendel se refere a essa tradição e propõe sua contribuição com respeito aos mecanismos para o desenvolvimento das plantas híbridas e não da hereditariedade em geral, como incorretamente atribuído a ele. A abordagem experimental empírica feita por Mendel aliada à formulação algébrica para explicar e predizer os fenômenos da hereditariedade no cruzamento dos híbridos são detalhadas. Atribuições errôneas feitas a Mendel como o criador dos conceitos de genótipo e fenótipo são discutidas.
**Palavras-chave:** ensino de biologia; genética; ensino de genética; história da biologia; Mendel, Gregor.

* Gilberto Oliveira Brandão, Faculdade JK-Anhanguera Educacional, Campus Taguatinga, QS1 Rua 212, Lotes 11-15, Águas Claras, Brasília, DF 71950 550, gilberto.brandao@unianhanguera.edu.br
**Louise Brandes Moura Ferreira, Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Área Universitária No. 1, Vila Nossa Senhora de Fátima, Planaltina, Brasília, DF 73300 000, louise@unb.br

**Genetics teaching at the high-school level: the significance of the historical context of Mendel's experiments to the reasoning on the mechanisms of inheritance**

**Abstract**:: Genetics teaching at the high school level is usually divided into classical genetics and molecular genetics. When teaching classical genetics, instructors usually approach the subject matter from a historical point of view by portraying Mendel as the isolate monk who founded the discipline and by depicting his experiments as the landmark of genetics. The present paper aims to provide a context of Mendel's lifetime, the scholarly atmosphere in which he carried out his experiments as well as to highlight and discuss the concepts presented in his work that are not studied in the classroom. Mendel was both part of a highly sophisticated academic environment and of the economic and cultural tradition of the XIX century Moravia's hybridizers. In his 1866 *Experiments in plant hybridization*, Mendel refers to this tradition and sets forth his contribution regarding the mechanisms of hybrids crossing and the development of their offspring and not of all types of inheritance, as it is mistakenly attributed to him. A thorough analysis of the empirical experimental approach carried out by Mendel together with the algebraic formulation to explain and predict inheritance phenomena in hybrids crossing is detailed. Misguided views of Mendel as the creator of the genotype and phenotype concepts are discussed.
**Keywords**: biology teaching; genetics; genetics teaching; history of biology; Mendel, Gregor.

## 1 MENDEL E O MELHORAMENTO GENÉTICO

O melhoramento genético, ou a seleção de características específicas em plantas e animais que possam ser reproduzidas na prole, é algo tão antigo quanto as primeiras civilizações humanas. As espigas de milho de cor amarela e sabor doce consumidas por nós hoje são bastante diferentes de seu provável ancestral selvagem, o teosinte, da família das gramíneas. A domesticação do milho começou há 6.000 anos no sudeste do México e os Maias pré-colombianos já consumiam variedades de milho melhoradas por eles mesmos. Outro exemplo de melhoramento genético é a enorme diversidade de raças de cães domesticados. Em ambos os casos – milho e cães – permanecem dois princípios fundamentais da ação humana na natureza através dos tempos: a busca pela seleção de certas características desejadas e a intervenção, por meio de cruzamentos planejados, para a continuidade dessas características nas gerações futuras de plantas e animais (Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2008).

Na segunda metade do século XIX, Gregor Mendel (1822-1884) publicou uma pesquisa que mudou definitivamente o curso

dos experimentos para o melhoramento genético dos seres vivos e para o entendimento dos princípios da hereditariedade. Mas afinal, quem foi Mendel? Em qual contexto histórico e ambiente científico ele viveu? Qual a relevância do seu trabalho entre seus contemporâneos?

## 2 VIDA E OBRA DE MENDEL

Mendel nasceu em 20 de julho de 1822 na Morávia, então parte do império austro-húngaro numa família de agricultores. (Veja abaixo na Figura 1 o retrato de Mendel numa série de selos comemorativos). Aos 21 anos entra para a Ordem de Santo Agostinho no monastério de Brno (lê-se Burno), na cidade de Brno, hoje a segunda maior metrópole da República Tcheca. O monastério foi um centro intelectual importante no século XIX, dado que não havia nenhuma universidade na região. Nesse sentido, muitas atividades científicas e educacionais eram patrocinadas pelo monastério ou aconteciam em conexão com as atividades dos monges. Quando Mendel entrou para a Ordem aos 21 anos, a biblioteca do mosteiro, além dos livros religiosos, possuia várias obras de Botânica e Ciências Naturais. Instrumentos científicos de ponta usados na época também podiam ser encontrados no monastério (Asiedu, 2009).

Mendel teve como mentor o Abade Franz Cyril Napp (1792-1867), que dirigiu o convento de Brno e era um naturalista membro de diversas sociedades científicas voltadas para práticas em agricultura. Sob a orientação de Napp, Mendel estudou Física, Matemática e História Natural na Universidade de Viena durante os anos de 1851 e 1853 (Corcos & Monaghan, 1993). Ao voltar para Brno, Mendel foi professor de adolescentes dando aulas de Física e História Natural numa escola secundária daquela cidade por quatro anos. Ao retomar suas atividades no monastério, Napp constrói para ele uma estufa na qual pudesse continuar os experimentos botânicos que havia iniciado na graduação (Orel & Wood, 2000). Seguindo a trilha de seu mentor, Mendel também participou ativamente de diversas sociedades científicas voltadas para a pesquisa e prática agricultural tais como a Sociedade Zoológica e Botânica de Viena, a Sociedade Agricultural da

Morávia e a Sociedade de Ciências Naturais de Brünn (Corcos & Monaghan, 1993; Leite, Ferrari & Delizoicov, 2001; Mayr, 1998).

Historicamente, a pesquisa mais importante de Mendel foi a que realizou com o cruzamento de ervilhas da espécie *Pisum sativum*. Mendel passou aproximadamente oito anos trabalhando nesse experimento e, em 1866, publicou o resultado do mesmo nos *Anais da Sociedade de História Natural de Brünn* (Mendel, 1995).

**Figura 1.** Selo comemorativo lançado pelo Correio Alemão em 1939 com o retrato de Gregor Mendel em homenagem a uma série de cientistas alemães ilustres. Imagem disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Danzig_Gregor_Mendel_10_Pf_1939.jpg#filehistory>. Acesso em janeiro de 2008.

Mendel fez outras pesquisas com outros tipos de plantas até o ano de 1868, quando foi eleito Abade, e passou a se dedicar às tarefas administrativas do monastério. Ele faleceu em 6 de janeiro de 1884, aos 61 anos de idade.

## 3 MENDEL E A PESQUISA COM OS HÍBRIDOS

Mendel estava interessado no desenvolvimento e evolução dos híbridos e seus descendentes. Hoje sabemos que um organismo híbrido é produzido a partir do cruzamento de animais ou plantas de espécies diferentes. Entretanto, no período em que Mendel estudou os híbridos, a diferença entre espécie e variedade era considerada em bases diferentes das atuais. Muitas vezes o termo híbrido era utilizado para significar variedades numa única espécie diferindo em apenas uma ou poucas características. Nesse contexto, quando Mendel menciona os híbridos da ervilha *Pisum sativum* que usou em seus experimentos, ele se refere a variedades da planta sob essa ótica, ou seja, elas se distinguem umas das outras por uma ou mais determinadas características.

Dentre as principais questões dos cultivadores e criadores na segunda metade do século XIX estava a possibilidade de se criar novas variedades de plantas e raças de animais que fossem estáveis. Uma das idéias correntes na época era que o cruzamento entre variedades ou raças poderia propiciar o surgimento de novas variedades e, talvez, até mesmo de novas espécies.

O hibridismo, ou seja, a prática de se realizar cruzamento entre variedades de plantas ou raças de animais diferentes com o objetivo de obter certas características desejadas na prole, era um procedimento comum para a produção de novas formas e também para a investigação científica. Mendel seguiu a abordagem experimental dos hibridizadores que o antecederam. Eles tentavam:

1. Obter um espécime de uma planta pura para um estado de uma determinada característica e um espécime de uma planta pura para outro estado da mesma característica – a característica poderia ser, por exemplo, a cor das sementes de uma planta, que podia manifestar-se amarela ou verde, como no caso das ervilhas que Mendel examinou. Esse par de plantas era chamado de geração parental, depois abreviado para "P".

2. Fazer o cruzamento dessas duas plantas puras, por meio de polinização artificial, isto é, colocando o pólen de uma planta sobre o estigma de outra planta da qual haviam sido removidas as anteras produtoras de pólen.
3. Observar o nascimento da prole obtida desse cruzamento e suas características – a essa prole Mendel deu o nome de "primeiros híbridos", à qual, ao traduzir o texto de Mendel para o inglês, em 1902, William Bateson (1861-1926) agregou o termo "primeira geração filial", cuja abreviação é "$F_1$".
4. Fazer o cruzamento da prole [$F_1$] – embora Mendel não o tenha dito claramente, deixava ocorrer nesse estágio apenas a autofecundação, isto é, o pólen de uma flor fecundava o estigma da mesma flor.
5. Observar o nascimento dessa prole – a ela Mendel deu o nome de segunda geração híbrida, chamada por Bateson "segunda geração filial", cuja abreviação é "$F_2$".

O esquema abaixo pode ser utilizado para ajudar na visualização do procedimento descrito e os resultados obtidos por Mendel:

**Geração Parental (P):**
planta pura para um estado de uma característicae × planta pura para outro estado da mesma característica
– Mendel observou uma única característica por vez, como, por exemplo, a cor da semente, que podia ser amarela ou verde.
↓
**Cruzamento**
– Mendel realizou polinização artificial entre plantas distintas.
↓
**Geração dos primeiros híbridos ($F_1$)**:
observar as características presentes
– Mendel obteve apenas ervilhas amarelas
↓
**Cruzamento**
– Mendel realizou apenas autofecundação.
↓
**Segunda geração de híbridos ($F_2$)**:
observar as características presentes
– Mendel obteve ervilhas amarelas e ervilhas verdes, na proporção de 3 para 1.

Atualmente o termo *variedade* é o termo mais comum para ressaltar as diferenças entre as características (ou fenótipos) das plantas. Entretanto, na época de Mendel o interesse dos hibridizadores era o desenvolvimento da planta, nesse sentido, a utilização do termo *estado de uma característica* reflete a transitoriedade dessa característica ao longo do desenvolvimento da planta.

Os resultados obtidos por essa abordagem eram: as plantas da geração $F_1$ (híbridas) possuíam apenas a característica de uma das formas parentais, no caso, sementes amarelas. Mendel chamou essa característica de "dominante", em vez do termo "preponderante", usado por outros autores da época. Já quando havia a autofecundação entre os primeiros híbridos, apareciam plantas com as duas características presentes nas plantas parentais: a dominante, que havia se manifestado nos primeiros híbridos, e a recessiva que era aquela que havia "desaparecido" nos primeiros híbridos e que voltava a aparecer na segunda geração ($F_2$). O termo "recessivo" foi cunhado por Mendel para substituir o termo "latente", usado na época (Martins, 1997, pp. 3-5).

Até este ponto, pode-se observar que a investigação de Mendel não representa grande novidade para a época. Como vimos no esquema acima, ele adotou o mesmo procedimento experimental dos hibridizadores. Além disso, obteve resultados semelhantes, observando a manifestação da característica dominante na primeira geração híbrida ($F_1$) e o reaparecimento da característica recessiva na segunda geração ($F_2$).

Mas aqui reside uma das particularidades da sua pesquisa. Mendel concentrou-se na análise de *uma* única característica por vez, o que possibilitou mostrar que os híbridos da primeira geração não eram intermediários entre os pais, mas possuíam o estado de uma característica herdado de um dos membros da geração parental.

O segundo aspecto que permitiu a Mendel avançar em relação a seus contemporâneos é o de ele ter prestado atenção às proporções encontradas. Em média, para cada 4 plantas de $F_2$, 3 eram amarelas e 1 era verde, de onde surgiu a famosa proporção de 3 para 1, denominada, no século XX, "1ª Lei de Mendel". Na tabela abaixo estão os resultados obtidos por Mendel em cruzamentos entre variedades de ervilha, para a característica cor da semente:

| Plantas puras | Características em $F_1$ | Autofecundação de $F_1$ | Características de $F_2$ | Proporção entre os tipos de $F_2$ |
|---|---|---|---|---|
| Amarela x Verde | Amarelas | Amarela x Amarela | 6.022 amarelas 2.001 verdes 8.023 total | 3,01: 1 |

Hibridizadores da época haviam descrito proporções semelhantes, mas que ficaram como registro de pouca relevância junto aos resultados. Mendel deu importância a esse dado, seguiu investigando-o estatisticamente e elaborou conclusões gerais. Realizou autofecundação das plantas da segunda geração e verificou que a proporção de 3 para 1 se decompunha, na terceira geração, na razão 2:1:1. Essa proporção confirmava que plantas híbridas acabavam por formar, na terceira geração, proporções iguais de puros e de híbridos. Hoje esta etapa do experimento de Mendel não é representada nos manuais de biologia, sendo explicada na própria geração $F_2$, em termos de genótipo: 1:2:1, isto é, AA:Aa:Aa:aa.

Outra contribuição de Mendel que permanece até os dias atuais é o uso da notação "A" como indicadora da característica dominante e "a" como indicadora da característica recessiva – embora tenha sido modificada para os atuais "AA", "Aa" e "aa".

Além desse estudo, Mendel também analisou a herança que envolvia duas ou mais características diferentes, encontrando proporções uniformes novamente. Em uma série de experimentos, ele cruzou plantas de sementes lisas e amarelas com plantas de sementes enrugadas e verdes. Todos os primeiros híbridos ($F_1$) portavam sementes com as características dominantes, lisa e amarela. Por meio de autofecundação de $F_1$, na geração seguinte ($F_2$) Mendel obteve os resultados que aparecem na quarta coluna da tabela que está mais abaixo.

Desses resultados empíricos, Mendel estimou que o resultado teórico esperado deveria ser aproximado para: a cada 9 sementes amarelas e lisas, 3 sementes verdes e lisas, 3 sementes amarelas e rugosas e 1 semente verde e rugosa. Essa proporção prevista para cruzamentos envolvendo dois pares de características constituíram o que veio a ser chamado, no século XX, a 2ª Lei de Mendel.

| Plantas puras | Características em $F_1$ | Autofecundação de $F_1$ | Características de $F_2$ | Proporção entre os tipos de $F_2$ |
|---|---|---|---|---|
| Amarelo liso x Verde rugoso | Amarelo liso | Amarelo liso x Amarelo liso | 315 amarelo liso<br>108 verde liso<br>101 amarelo rugoso<br>32 verde rugoso<br>556 total | 9,8 : 3,4 : 3,2 : 1 |

## 4 A INOVAÇÃO DE MENDEL: OBSERVAÇÃO, REGISTROS PRECISOS E UMA FÓRMULA MATEMÁTICA

Na Universidade de Viena, Mendel estudou fisiologia vegetal e teve contato com os conhecimentos sobre as células e sobre as pesquisas de hibridizações desenvolvidas na época. Ao mesmo tempo, estudou e foi demonstrador de Física experimental, aprendendo sobre a necessidade de identificar variáveis, isolar efeitos e fornecer resultados quantitativos por meio de fórmulas matemáticas (Olby, 1985, p. 98). As suas habilidades matemáticas já eram manifestas na formação pré-universitária, especialmente ao estudar e realizar medições meteorológicas que o familiarizaram com o uso da estatística, característica que particularizou o tratamento que conferiu às questões acerca do desenvolvimento e evolução dos híbridos.

Um dos pontos importantes para o trabalho de Mendel foi a escolha do modelo biológico a ser testado. Ele optou pela planta *Pisum sativum*, a ervilha-de-cheiro, cujas condições de cultivo eram bem estabelecidas na região da Morávia. (Veja na Figura 2 uma ilustração botânica da *Pisum sativum*). Mendel preconizava que para os experimentos de hibridação deveria ser usada uma planta que apresentasse variáveis bem definidas e estabilizadas. Ele escolheu variáveis descontínuas, tais como a cor da flor e o formato da semente da ervilha, não havendo *gradação* entre essas variáveis, ou seja, uma flor tem a cor vermelha ou branca, por exemplo, uma semente é lisa ou rugosa, por exemplo, ao invés de variáveis cujo

valor pode ser fracionado, como o tamanho do caule de uma planta. Outra característica importante da planta que escolheu, é a de seus estames e pistilos serem encobertos pelas pétalas, o que conferia a capacidade dos ovários estarem protegidos contra grãos de pólen externos durante o período da floração, desde que a flor fosse coberta para evitar a ação polinizadora dos insetos. A autofecundação resultante permitia que o hibridizador tivesse controle sobre o processo de polinização. Como dizemos hoje, Mendel encontrou na *Pisum sativum* o modelo certo para sua pesquisa, pois ela possuía todas essas características.

A abordagem experimental de Mendel foi exatamente a mesma de seus predecessores, com a diferença que Mendel *contou* e *registrou* com precisão a quantidade de plantas que apresentavam variações dominantes e recessivas na geração $F_2$ à medida que realizava cruzamentos entre gerações para obter descendentes dos híbridos. A partir desses registros, um padrão matemático começou a surgir: a ocorrência de três plantas com variação dominante para uma planta com variação recessiva. Os experimentos de Mendel foram realizados com sete características de *Pisum sativum*. Para todas as características analisadas a razão de 3:1 sempre aparecia na geração $F_2$. Mendel obteve razões próximas a esse padrão, mas registrou os números exatos.

A explicação para as proporções encontradas foi representada na seguinte expressão algébrica, a qual utiliza letras para representas as variações encontradas para determinada característica:

$$A + 2Aa + a$$

Segundo esta fórmula, a letra *A* representava a característica dominante e *a* representava a característica recessiva. Naquela época, Mendel não possuía a noção de genótipo – combinações dos alelos em um organismo e nem de fenótipo – manifestação das combinações alélicas, então não havia a distinção entre fenótipo e genótipo. Por esse motivo ele utilizou apenas uma letra para representar os organismos puros: esses tinham apenas uma variação e sempre geravam filhos com a mesma variação. Já nos híbridos era importante destacar a presença das duas características. Cada característica seria representada por um *elemento* que estaria presente nos gametas. Assim, pólens e óvulos contribuíam cada um com um elemento, o que explicava porque todas as plantas da

geração $F_1$ eram híbridas. Todas haviam recebido um elemento diferente, um paterno e outro materno. A abordagem quantitativa de Mendel permitiu a ele a elaboração de uma regra geral que no século XX passou a ser chamada de 1ª lei de Mendel ou lei da segregação das características ou lei da pureza dos gametas.

Em outra série de experimentos, Mendel acompanhou os resultados do cruzamento de plantas duplo híbridas para duas características diferentes, como por exemplo, cor e forma das sementes. Ele descobriu que a proporção 3:1 se mantinha quando as características eram analisadas isoladamente, e que havia quatro combinações possíveis que apareciam em proporções diferentes, porém coerentes com a proporção 3:1. Se continuarmos considerando o exemplo da análise simultânea de cor e forma das sementes, as plantas se apresentaram com as seguintes combinações e proporções: 9 sementes amarelas e lisas; 3 sementes amarelas e rugosas; 3 sementes verdes e lisas; 1 semente verde e rugosa.

A partir do conjunto de observações com cruzamentos diíbridos, ou seja, acompanhamento de duas características e suas variações provenientes dos cruzamentos dos híbridos, Mendel chegou a uma nova regra geral que, no século XX, passou a ser chamada 2ª lei de Mendel ou lei da distribuição independente das características. A distribuição dos elementos para uma determinada característica, como a cor da semente, não influenciaria nos elementos presentes para a forma da semente.

Os experimentos de Mendel são a base conceitual que possibilitou, mais tarde, a definição tanto de partículas físicas que continham a informação – cromossomos e genes – quanto do modo de transmissão desses genes de uma geração a outra. Os gametas têm apenas um alelo para cada característica analisada e a união dos gametas na fecundação restaura a condição dupla dos alelos presentes nos cromossomos paternos e maternos. Se as informações genéticas para duas características estiverem presentes em cromossomos diferentes ou se ambos estiverem no mesmo cromossomo em posições distantes, as "leis" de Mendel terão validade. Nesse caso haverá uma distribuição aleatória dos cromossomos e seus alelos e a proporção 9:3:3:1 poderá não ocorrer.

O trabalho de Mendel traz contribuições muito importantes para a Genética, entretanto, sua pesquisa não foi reconhecida até o início do século XX.

**Figura 2.** Ilustração botânica da *Pisum sativum* feita pelo naturalista Otto W. Thomé em 1885 na obra *Flora da Alemanha*. Destaque para as seguintes partes numeradas da planta mostrando desde o desenvolvimento do ovário até o fruto: (1) corte transversal representado as pétalas e com realce para as estruturas reprodutivas da flor (ovário com óvulos) e os estames, (2) destaque para os estames, e (5) vagem fechada. Imagem disponível em:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illustration_Pisum_sativum 0.jpg>. Acesso em janeiro de 2008.

Alguns autores argumentam que Mendel não teve o reconhecimento necessário por seus pares por ter publicado muito pouco. Outra possível razão foi o fato de Mendel ter se correspondido com um botânico famoso, Carl Nägeli, que o desencorajou a enviar os resultados de seus experimentos para uma revista de Botânica mais conceituada, talvez por este defender uma teoria amplamente aceita na época que contrariava as descobertas de Mendel, a tese da hereditariedade por mistura, segundo a qual as informações paternas e maternas se misturam nos híbridos durante a fecundação (Freire-Maia, 1995).

## 5 A ABORDAGEM HISTÓRICA SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE MENDEL PARA A GENÉTICA

Uma das tarefas mais complexas para o professor de Biologia do ensino médio é o início do conteúdo de Genética. Normalmente, se começa esse estudo pela abordagem clássica e histórica, que considera as contribuições dos experimentos e leis derivadas da pesquisa de Gregor Mendel como sendo o início da Genética. Nesse sentido, uma das principais dificuldades do professor ao ensinar a disciplina é contextualizar o período histórico e as idéias de Mendel. Um dos objetivos deste texto é fornecer informações históricas corretas e tentar desmistificar algumas concepções errôneas sobre as origens da disciplina. Uma das principais falhas veiculadas por alguns livros-texto está na contextualização histórica da Genética no que se refere às intenções de Mendel: o que ele estava tentando descobrir? Quais foram suas motivações ao realizar seus experimentos?

Para Wood e Orel (2000) Mendel foi compelido a investigar a questão dos híbridos por demandas econômicas de produtores locais da Morávia e também por razões acadêmicas; sua pesquisa pretendia ajudar os agricultores a desenvolver plantas híbridas que pudessem manter as características desejadas (Müller-Wille, 2007). Outra concepção errônea, conectada à essa, refere-se à idéia de que Mendel, sendo um monge, encontrava-se isolado. Mendel vivia em um mosteiro, é verdade, mas participava de muitas associações de criadores e agricultores, bem como sociedades acadêmicas (Leite, Ferrari & Delizoicov, 2001). Além disso, os mosteiros no século XIX possuíam vastas bibliotecas e havia um inter-

câmbio de informações de modo que Mendel estava inserido em uma cultura científica (Asiedu, 2009). Um dos principais problemas práticos discutidos nas reuniões das associações era a produção de novas variedades de plantas e animais que pudessem conter características de interesse comercial. Nesse sentido, já se sabia que a melhor forma de se conseguir novas variedades era por meio do cruzamento controlado, pois tal prática produzia híbridos que eram de grande interesse para criadores e agricultores.

Como colocado anteriormente, o termo híbrido nos dias atuais é utilizado para designar aquele organismo proveniente do cruzamento entre dois indivíduos de espécies diferentes, mas na época tal termo era utilizado para designar os descendentes de um cruzamento entre indivíduos de variedades pouco diferentes. Quando cruzados entre si, indivíduos puros de duas variedades distintas geravam uma descendência híbrida variada, de maior interesse econômico. Assim, os hibridizadores, pesquisadores que testavam os processos de cruzamento entre organismos puros e entre organismos híbridos, tinham interesse em estabelecer padrões de hibridização que pudessem atender aos criadores e agricultores. Como formar e manter novas variações provenientes de fertilização artificial?

Um fato intrigava os hibridizadores: muitos híbridos com características de interesse comercial, quando geravam descendentes, produziam os tipos parentais originais em sua prole. A geração parental era formada por organismos puros, cada qual com uma variação de determinada característica. Na primeira geração dos filhos havia a predominância de apenas uma das duas variações. Essa era considerada a variação dominante e estava presente no híbrido. Entretanto, quando se analisava a geração proveniente do cruzamento dos híbridos verificava-se que a outra variação aparecia, ou seja, a informação para a característica recessiva. Dessa forma, aquela característica que "desaparece" nos híbridos volta a aparecer nos seus descendentes. Os experimentos de hibridização em diversas espécies antes de Mendel não possibilitaram qualquer padrão ou modelo explicativo para esse problema.

Outro fato importante refere-se ao desenho experimental de Mendel. Sua abordagem constitui um exemplo da utilização do método experimental na Biologia e seus experimentos são elegantes, mas a verdadeira contribuição de Mendel está na utilização da

abordagem estatística para tentar resolver o problema dos hibridizadores (Allen, 2003; Corcos & Monaghan,1993; Darden, 1991; Falk, 2007; Gliboff, 1999; Lorenzano, 2007; Orel & Wood, 2000; Sandler, 2000). Mendel apresentou seu trabalho de oito anos em encontros da Sociedade de História Natural de Burn em 1865, o qual foi intitulado em alemão, *Versuche über plflanzenhybriden*, sendo publicado nos Anais da Sociedade em 1866. Nesse trabalho, Mendel cita os pesquisadores que abordaram o problema da descendência dos híbridos, como Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806), Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850) e outros, embora nenhum deles tenha antes utilizado a abordagem quantitativa em seus experimentos de hibridização (Mendel, 1995). Charles Naudin (1815-1899), por exemplo, um contemporâneo de Mendel, que publicou suas pesquisas durante os anos de 1855 a 1869, estudou uma série de cruzamentos envolvendo diversos gêneros de plantas. Em seus trabalhos, Naudin enfatizava a relativa uniformidade da geração $F_1$ em comparação com a grande variabilidade da geração $F_2$, mas ele não estabeleceu proporções matemáticas para relacionar a quantidade de plantas puras e híbridas nos descendentes da linhagem $F_1$ (Sturtevant, 2001, p. 7).

Uma das principais questões históricas em relação ao trabalho de Mendel refere-se às suas pretensões acadêmicas. A tese mais comum é a de que ele estava tentando estabelecer as bases da hereditariedade e descobrir as leis naturais que regulam a transmissão das características nos organismos. Em seu artigo, Mendel utiliza seguidas vezes a palavra *desenvolvimento* e, segundo Sandler (2000), esse conceito é chave para se entender as motivações de Mendel. O termo desenvolvimento deve ser compreendido de acordo com as concepções do século XIX. No início do século XX a redescoberta de Mendel e o estabelecimento da Genética como campo do conhecimento provocou a separação da hereditariedade dos processos de desenvolvimento, estudados pelos embriologistas. Entretanto, para um hibridizador do século XIX, hereditariedade e desenvolvimento eram processos indissociáveis. Assim, para Sandler, Mendel estudou não apenas a hereditariedade, mas os princípios do desenvolvimento dos híbridos e da geração proveniente do intercruzamento dos híbridos.

Um contraponto às idéias de Sandler vem de Gliboff (1999) que argumenta que Mendel estava mais interessado nas questões

da mudança das espécies e na importância da hibridização na produção de novas formas. Visualizar Mendel como um evolucionista nos faz pensar em Darwin e, realmente, Mendel leu o famoso livro de Darwin, *A origem das espécies*, uma vez que o monastério tinha uma cópia do mesmo; mas na época em que Darwin publicou sua teoria evolucionista da descendência com modificação pela ação da seleção natural, Mendel já havia iniciado sua série de experimentos com hibridização. Para Gliboff, a inspiração para os objetivos do trabalho de Mendel na investigação do papel dos híbridos na evolução orgânica veio das idéias de Franz Unger, um botânico austríaco. Este foi professor de Mendel na Universidade de Viena e utilizou a abordagem quantitativa em suas investigações sobre a biogeografia de plantas. Além disso, o foco das pesquisas de Unger estava em descobrir as leis da mudança no desenvolvimento das plantas, ou seja, em esclarecer processos do desenvolvimento do indivíduo, bem como na evolução do reino vegetal. Assim, para Gliboff, Mendel estava interessado em elucidar uma lei matemática da evolução orgânica. Para dar suporte a essa tese, Gliboff retoma o texto original de Mendel para argumentar que a palavra alemã *entwicklung* deve ser traduzida como evolução, e não como desenvolvimento como aparece nas traduções do texto de Mendel para a língua inglesa. Para ele, Mendel também estava interessado nos processos ontogenéticos do desenvolvimento, pois também utilizou o termo alemão *bildung* que denota esse significado. A utilização dos dois termos (*bildung* e *entwicklung*) na mesma frase seria forte indício de que Mendel estaria pesquisando não apenas o desenvolvimento dos híbridos e de sua prole, mas também a evolução de tais formas ao longo de gerações.

Um conceito importante para se entender o trabalho de Mendel é o termo *merkmale*, características, em português. Ele foi traduzido do alemão para o inglês como *characters*. (Mendel, 2001). Na interpretação de Hartl e Orel (1992), o termo foi utilizado originalmente por Mendel para significar a combinação de elementos ou fatores (que hoje denominamos "genótipo") e também para designar a aparência (que hoje denominamos "fenótipo"). Segundo a interpretação desses autores, os símbolos mendelianos são notações algébricas que não apontam para entidades materiais reais biológicas. Durante a maior parte do texto de Mendel somos

apresentados às notações algébricas que representam a descendência dos híbridos. Mendel sabia que era necessária a união de gametas para que se iniciasse o desenvolvimento de um novo organismo e que provavelmente, tais gametas deveriam conter uma partícula física que portasse a informação para determinada variação, mas os elementos ou fatores não receberam destaque. Para ele era mais importante a elaboração de leis de segregação e distribuição independente das características nas gerações provenientes do cruzamento dos híbridos, do que a explicação dos mecanismos da hereditariedade pela transmissão das partículas físicas da herança.

Outro argumento relevante para a tese de que Mendel estava interessado no desenvolvimento e evolução dos híbridos e não apenas na hereditariedade, está na utilização dos símbolos alfabéticos. As variações de uma característica eram representadas no trabalho de Mendel por letras, sendo que a variação dominante era representada por uma letra maiúscula *A,* enquanto que a variação recessiva era representada por uma letra minúscula *a.* A representação algébrica da descendência do cruzamento dos híbridos utilizada por Mendel era:

A+ 2Aa + a

Segundo a notação acima, *A* representava os organismos puros com a variação dominante, *Aa* os organismos híbridos, e *a* os organismos puros com a variação recessiva. Um geneticista moderno representaria os genótipos de organismos puros dominantes e recessivos por *AA* e *aa* respectivamente, mas Mendel não realizou a distinção entre genótipo e fenótipo; tais termos apareceram somente nos trabalhos de Genética do século XX tendo sido introduzidos na primeira década daquele século pelo botânico dinamarquês Wilhelm Johannsen (1857-1927) (Johannsen, 1911).

Muitos professores acreditam que Mendel estava interessado em provar a veracidade da teoria particulada da herança, embora reconheçam que o termo *gene* não era utilizado por ele. Mendel sabia que os híbridos não representavam uma mistura de seus pais, e que apenas uma das variações parentais se manifestaria no híbrido, embora a outra variação aparecesse nos descendentes do autocruzamento dos híbridos. Tal conhecimento já era compartilhado por hibridizadores anteriores a Mendel.

Sendo assim, quais foram as contribuições de Mendel para a Genética? Ele introduziu a análise estatística dos híbridos nas gerações $F_1$, $F_2$ e gerações subseqüentes, cujos resultados foram descritos em termos numéricos. Analisou características separadamente, isoladas uma das outras. O tratamento estatístico levou-o ao estabelecimento das proporções entre organismos dominantes e recessivos na geração proveniente do autocruzamento dos híbridos: 3 dominantes para 1 recessivo e, posteriormente, analisando as gerações seguintes 1 puro dominante: 2 híbridos: 1 puro recessivo. Essas proporções matemáticas são a base do raciocínio mendeliano. É importante ressaltar que Mendel estava ciente de que essas proporções eram eventos probabilísticos, uma vez que em seu trabalho ele descreve as proporções reais observadas em seus jardins e não apenas a proporção esperada de 3:1 ou a de 1:2:1. Tais proporções possibilitam a elaboração do primeiro princípio da pureza dos gametas. Além disso, a análise das variações de duas características simultaneamente, o chamado cruzamento diíbrido, possibilitou a elaboração do princípio da distribuição independente das características na prole dos híbridos. A representação algébrica e as proporções matemáticas encontradas também eram complexas e necessitavam de confirmação com outros híbridos, além da *Pisum sativum*. Mendel realizou a mesma abordagem experimental para outras espécies, entre elas *Hieracium* sp. (Mendel, 2000) mas não foi bem sucedido. Naquela época não se sabia que a *Hieracium* sp. é uma planta que se reproduz assexuadamente por apomixia. Nesse tipo de reprodução as sementes contêm embriões que são formados sem fecundação, logo, são geneticamente idênticos à geração parental. Esses resultados fizeram com que Mendel ficasse bastante confuso com respeito à generalização dos resultados que encontrou com seus experimentos com a *Pisum sativum* para outras plantas (Nogler, 2006). Segundo Martins, os casos discrepantes apenas mostram que Mendel estava consciente de que as regras que havia encontrado para ervilhas não eram universais e precisavam ser confirmadas e repetidas em mais experimentos (Martins, 1997, p. 3-9). Essas experiências são um exemplo histórico da tese de que a construção do conhecimento científico muitas vezes acontece de forma não-linear.

Na sala de aula, os desafios de ensinar o raciocínio mendeliano sobre os mecanismos da hereditariedade também reside no fato de

que, ao tomar o primeiro contato com a Genética, o aluno deve aprender um vocabulário novo e dominar conceitos de biologia da reprodução, bem com se deparar, para muitos pela primeira vez, com uma abordagem quantitativa da Biologia (Wynee, 2001).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALLEN, Garland E. Mendel and modern genetics: the legacy for today. *Endeavour* **27** (2): 63-68, 2003.

ASIEDU, Dita. *The Mendel Museum in Brno*. Radio Prague. Disponível em: <http://www.radio.cz/en/article/82926> Acesso em: 12 janeiro 2009.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. *Guia do milho: tecnologia do campo à mesa.* Conselho de Informações sobre Biotecnologia, São Paulo. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/cartilha_milho.pdf> Acesso em: 8 agosto de 2008.

CORCOS, Alain F.; MONAGHAN, Floyd V. *Gregor Mendel's experiments on plant hybrids: a guided study.* New Jersey: Rutgers University Press, 1993.

DARDEN, Lindley. *Theory change in science: strategies from Mendelian genetics*. North Carolina, Cary: Oxford University Press, 1991.

FALK, Raphael. Genetic analysis. *in* MATTHEN, M.; STEPHENS. (eds.). *Philosophy of biology.* Amsterdam: North-Holland/Elsevier, 2007.

FREIRE-MAIA, Newton. *Gregor Mendel: vida e obra. in*: FREIRE-MAIA, Newton (ed.). *Gregor Mendel: vida e obra*. São Paulo: T. A. Queiroz Editor, 1995.

GLIBOFF, Sander. Gregor Mendel and the laws of evolution. *History of Science* **37** (2): 217-235, 1999.

HARTL, Daniel L.; OREL, Vitezslav. What did Gregor Mendel think he discovered? *Genetics* **131**: 245-253, 1992.

JOHANNSEN, Wilhelm. The genotype conception of heredity. *The American Naturalist* **45** (531): 129-159, 1911.

LEITE, Raquel Crosara Maia; FERRARI, Nadir; DELIZOICOV, Demétrio. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. *Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **1** (2): 97-108, 2001.

LORENZANO, Pablo. Filosofía diacrônica de la ciência: el caso de la genética clásica, pp. 369-392, *in* MARTINS, L. A. P.;

PRESTES, M. E. B.; STEFANO, W.; MARTINS, R. A. (eds.). *Filosofia e história da biologia 2: seleção de trabalhos do V Encontro de Filosofia e História da Biologia*. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa-Mack Pesquisa e Livraria da Física Editora, 2007.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da herança: proposta, fundamentação, crítica e aceitação*. Campinas, 1997. Tese (Doutorado em Genética e Evolução) – Universidade Estadual de Campinas.

MAYR, Ernst. *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Traduzido por Ivo Martinazzo. Brasília: Editora UNB, 1998.

MENDEL, Gregor. *On hieracium-hybrids obtained by artificial fertilization*. Traduzido por William Bateson. New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2000.

———. *Experiments in plant hybridization*. Traduzido por William Bateson. New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2001.

———. *Versuche über Pflazen-hybriden*. Disponível em: <www.mendelweb.org/mwger.text.html> Acesso em: 12 fev. 2008.

MÜLLER-WILLE, Staffan. Hybrids, pure cultures, and pure lines: from nineteenth-century biology to twentieth-century genetics. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* **38**: 796-806, 2007.

NOGLER, Gian A. The lesser-known Mendel: his experiments on Hieracium. *Genetics* **172** (2) :1-6, 2006.

OLBY, Robert. *Origins of Mendelism*. 2a ed. Chicago: University of Chicago Press, 1985.

OREL, Vitezlav.; WOOD, Roger J. Essence and origin of Mendel's discovery. *Life Sciences* **323**: 1037-1041, 2000.

SANDLER, Iris. Development: Mendel's legacy to genetics. *Genetics* **154** (1): 7-11, 2000.

STUTERVANT, Alfred H. *A history of genetics*. EUA, New York, Cold Spring: Cold Spring Harbor Laboratory Press and Electronic Scholarly Publishing Project, 2001. Disponível em:

<http://www.esp.org/books/sturt/history> Acesso em: 12 fev. 2008.

WOOD, Roger J.; OREL, Vítezslav. Scientific breeding in central Europe during the early nineteenth century: background to Mendel's later work. *Journal of the History of Biology* **38** : 239-272, 2005.

WYNNE, Cynthia F. High school students' use of meiosis when solving genetics problems. *International Journal of Science Education* **23** (5): 501-515, 2001.

# Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada

**Lilian Al-Chueyr Pereira Martins** *

**Resumo**: Um dos temas discutidos nos livros-texto de Biologia destinados ao ensino médio é a origem da vida. Dentro dele é abordada a questão da geração espontânea e as contribuições de Louis Pasteur (1822-1895), que, em geral, é apresentado como tendo provado definitivamente que este tipo de geração não existe. Além desse, aparecem nessas descrições outros equívocos que transmitem uma visão totalmente equivocada sobre a natureza da ciência. O objetivo deste trabalho é estudar detalhadamente as contribuições de Pasteur relativas à geração espontânea, bem como o seu contexto, esclarecendo equívocos muito comuns a respeito do tema. Nesse sentido, o estudo da controvérsia entre Pasteur e Félix Archimède Pouchet (1800-1876) e de seu contexto possibilitou o conhecimento de alguns aspectos da natureza do conhecimento científico tais como: observações e experimentos nem sempre fornecem evidências tão claras que permitam tomar decisões sobre o que está sendo discutido; um experimento não prova determinada hipótese ou teoria embora possa trazer evidências favoráveis ou contrárias a hipóteses ou teorias; o desacordo é sempre possível e o raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, religiosas e culturais.

**Palavras-chave:** história da Biologia; ensino da Biologia; origem da vida; geração espontânea; Pasteur, Louis; Pouchet, Félix Archimède.

**Pasteur and spontaneous generation: a mistaken history**

**Abstract:** The origin of life is one among the subjects which are discussed in the high-school text-books of Biology. Spontaneous generation and Louis Pasteur's (1822-1895) contributions to it are part of this subject. In general Pasteur is presented in those books as the one who proved definitely that spontaneous generation does not exist. The aim of this paper is to discuss carefully Pasteur's contributions concerning spontaneous generation as well as its context, trying to

* Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; Grupo de História e Teoria da Ciência, Unicamp; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Caixa Postal 6059, 13083-970 Campinas, SP. E-mail lacpm@uol.com.br

clarify this particular misinterpretation as well as other ones which are very common. Through the study of the controversy between Pasteur and Felix Archimède Pouchet (1800-1876) and its context it was possible to know some features related to the nature of the scientific knowledge such as: observations and experiments not always provide a body of evidence clear enough to enable one to take decisions related to the subject which is being discussed; an experiment cannot prove that an hypothesis or theory is true although it could bring evidence in favour or against a hypothesis or theory; disagreement is always possible and scientific reasoning cannot be established without appealing to social, moral, religious and cultural sources.
**Keywords:** history of Biology; Biology teaching; origin of life; spontaneous generation; Pasteur, Louis; Pouchet, Felix Archimède.

# 1 PRIMEIRA PARTE. PASTEUR, POUCHET E A GERAÇÃO ESPONTÂNEA

## 1.1 Questões sobre a origem da vida

De onde surgem os seres vivos? Desde a Antigüidade já se sabia que os animais e plantas nascem de outros animais e plantas. Mas será *sempre* assim? Não haverá exceções?

Ao longo dos séculos, houve diferentes visões a respeito dessa questão. Muitas pessoas acreditavam que os seres vivos menores e mais simples poderiam surgir sem pais, por um processo que chamamos de "geração espontânea". Os cogumelos e musgos pareciam brotar por si mesmos, sem sementes. Insetos e vermes também surgiam, aparentemente, sem a necessidade de pais.

Atualmente não se aceita que os seres vivos que conhecemos – nem os maiores, nem os menores – sejam produzidos espontaneamente. Acredita-se que todos os animais e plantas nascem a partir de outros seres vivos semelhantes. Mas... e os primeiros seres vivos, de onde surgiram? Aqueles que aceitam uma visão religiosa sobre a origem da vida acreditam que Deus criou os primeiros animais e plantas, ou seja, eles não foram produzidos por processos da natureza e sim de uma forma sobrenatural. No entanto, as ciências naturais procuram explicar aquilo que conhecemos por teorias e hipóteses não religiosas, assumindo apenas a existência dos processos naturais. Será que as forças da natureza, sem auxílio sobrenatural, poderiam produzir os primeiros animais e plantas?

Essa era uma questão muito importante, no século XIX. Recordemos que foi ao longo do século XIX que surgiram as primei-

ras teorias sobre evolução dos seres vivos – a proposta de Lamarck foi apresentada no início do século, e a primeira versão da teoria de Charles Darwin foi publicada em 1858. Jean-Baptiste Lamarck defendeu que todos os fenômenos biológicos são puramente naturais e que a vida deve ter surgido a partir de forças físicas e químicas, sem processos sobrenaturais. Darwin preferiu não tocar nesse assunto, ou seja, nem afirmou que os primeiros seres vivos surgiram naturalmente, nem que foram criados diretamente por Deus[1].

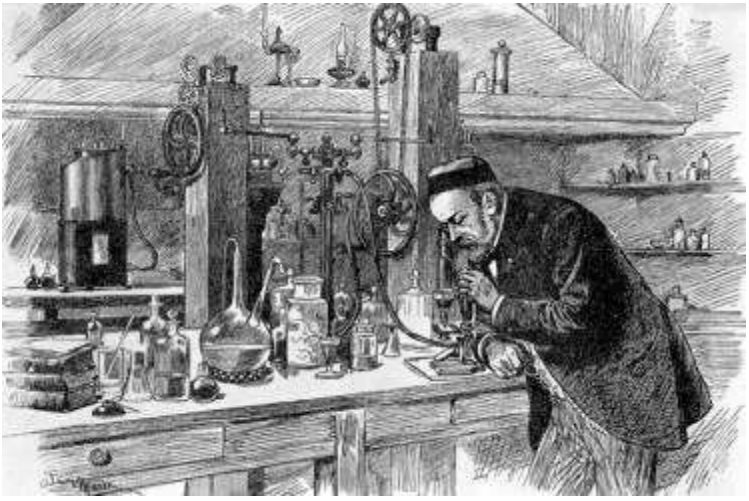


**Figura 1**. Louis Pasteur é representado muitas vezes em seu laboratório, fazendo experimentos. Imagens como esta transmitem a concepção de um cientista sério, competente, cuidadoso, voltado para o estudo dos fatos e procurando atingir a verdade pelo estudo experimental. No entanto, há exageros sobre o que ele realmente fez.

[1] Na primeira edição do seu livro *The origin of species* Darwin tocou nesse ponto de uma forma vaga: "Portanto, eu poderia inferir por analogia que todos os seres orgânicos que jamais viveram nesta Terra são descendentes de alguma forma primordial única, na qual a vida foi soprada pela primeira vez" (Darwin, 1859, p. 484). Quem quisesse, poderia entender que Darwin estava se referindo ao sopro divino; quem preferisse, poderia entender como uma visão puramente naturalista, sem conotação religiosa.

Embora a questão da geração espontânea dos seres vivos fosse um tema discutido há muitos séculos, pode-se dizer que os debates e experimentos realizados sobre esse assunto no século XIX foram muito importantes. Costuma-se dizer que foi Louis Pasteur (1822-1895) quem derrubou definitivamente essa crença, baseando-se em uma série de experimentos. Veremos que não foi bem isso que aconteceu, e que Pasteur nem provou nem poderia ter provado experimentalmente que a geração espontânea não existe.

## 1.2 Os primeiros trabalhos de Pouchet

Em 1856 o médico e naturalista Félix Archimède Pouchet (1800-1876), diretor do Museu de História Natural de Rouen, iniciou a publicação de uma série de pesquisas favoráveis à geração espontânea de organismos microscópicos. Realizou vários experimentos nos quais procurava primeiramente destruir todos os organismos existentes no material estudado, e depois de algum tempo notava o aparecimento de microorganismos. Por exemplo: ele fervia água, depois a fechava hermeticamente em um recipiente, deixando esfriar; então introduzia oxigênio puro (produzido quimicamente) e feno que havia sido aquecido em um forno a uma temperatura de 100° durante meia hora. Depois de uma semana, observando o líquido ao microscópio, Pouchet constatou a presença de uma grande quantidade de seres vivos microscópicos e concluiu que estes haviam sido gerados espontaneamente.

Os experimentos de Pouchet produziram forte repercussão na Academia de Ciências de Paris. Pareciam ter sido bem realizados, e o naturalista, que tinha então 56 anos de idade, era uma pessoa bem conhecida e respeitada na época; mas a crença na geração espontânea, nesse momento, estava já enfraquecida. Alguns pesquisadores franceses importantes, como Henri Milne Edwards, Armand de Quatrefages e Claude Bernard, criticaram os experimentos, alegando que os microorganismos observados poderiam ter vindo do ar, ou então no próprio feno, apesar de seu aquecimento no forno. No entanto, esses autores não procuraram repetir os experimentos. Pouchet refez suas observações, tomando novas precauções, e os microorganismos continuavam a aparecer. Um fisiólogo italiano, Paolo Mantegazza, confirmou pouco depois as observações de Pouchet.

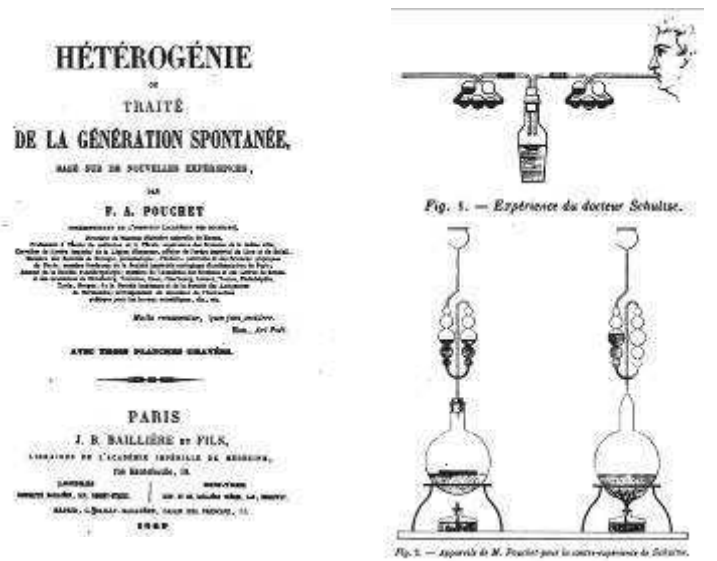
**Figura 2**. Félix Archimède Pouchet.

Depois de três anos de pesquisas, Pouchet publicou um livro sobre o assunto, denominado *Hétérogénie ou traité de la génération spontanée*[2]. Essa obra tem um longo histórico da questão (quase 100 páginas), seguido por uma discussão filosófica sobre o tema. Depois discute a questão da origem da vida na Terra, defendendo

[2] O nome "heterogenia" significava o surgimento de um ser vivo a partir de substâncias orgânicas provenientes de um outro ser vivo diferente (animais e plantas em decomposição, ou infusões obtidas fervendo partes de animais e plantas). É diferente da idéia de que poderiam surgir seres vivos a partir de matéria inorgânica.

que os primeiros organismos se formaram espontaneamente – mas esclarecendo que isso não era uma concepção anti-religiosa. Por fim, o livro apresenta um grande número de experimentos nos quais parecia estar ocorrendo geração espontânea de microorganismos.

Pouchet concluiu que sempre nasceriam "pequenos animais" microscópicos (animálculos) quando houvesse água, ar e alguma substância orgânica em decomposição, mesmo quando fossem tomados cuidados aquecendo fortemente essas substâncias e evitando a entrada de microorganismos do exterior. As pessoas que criticavam a geração espontânea afirmavam que, nesses experimentos, deveriam ter permanecido alguns microorganismos no material aquecido, ou então eles teriam entrado pelo ar, reproduzindo-se na infusão e produzindo todos os seres microscópicos observados. Afirmava-se, por exemplo, que a poeira do ar estaria cheia de germes capazes de produzir os microorganismos observados.


HÉTÉROGÉNIE

OU

TRAITÉ

DE LA GÉNÉRATION SPONTANÉE,

FAIT SUR DE NOUVELLES EXPÉRIENCES,

PAR

F. A. POUCHET

AVEC TROIS PLANCHES GRAVÉES.

PARIS

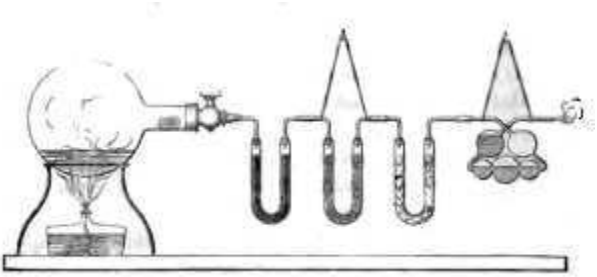
J. B. BAILLIÈRE ET FILS,

1859

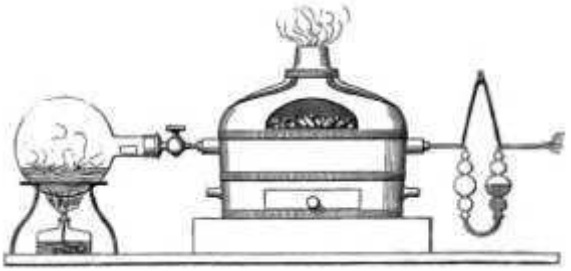
Fig. 1. — Expérience du docteur Schultze.



**Figura 3**. Na sua obra *Hétérogénie ou traité de la génération spontanée*, Pouchet descreveu experimentos que tinham sido contrários à geração espontânea, como os de Schultze, e elaborou novas versões dos mesmos, que deram resultados que pareciam mostrar a possibilidade de surgimento de formas microscópicas de vida em líquidos esterilizados.



(a)



(b)

**Figura 4**. Em alguns de seus experimentos, Pouchet tomava o cuidado de fazer o ar passar através de tubos contendo ácidos e substâncias cáusticas (a) ou então por um tubo fortemente aquecido (b) para destruir qualquer microorganismo que pudesse penetrar da atmosfera no líquido que estava sendo estudado.

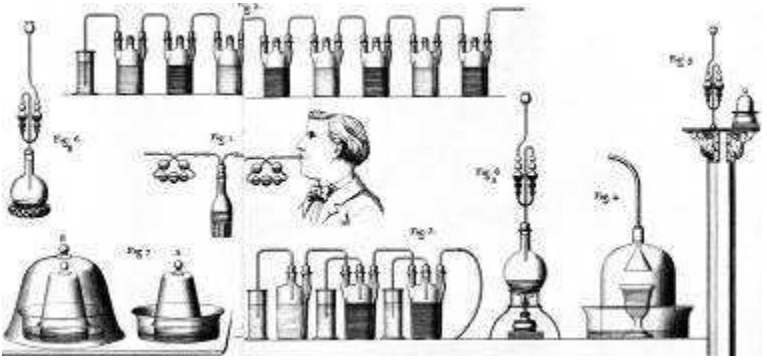
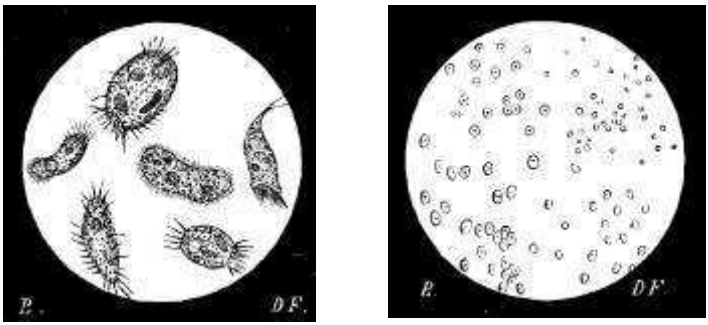


**Figura 5**. Os experimentos realizados por Pouchet foram favoráveis à geração espontânea. Eles pareciam bem feitos, cuidadosos, e produziram forte repercussão, na época.



(a) (b)

**Figura 6**. Desenhos de "infusórios" (a) e de "mônadas" (b) observados por Pouchet em seus estudos.

Pouchet analisou também a poeira coletada de diversas formas, e não encontrou microorganismos ou esporos que justificassem a grande quantidade de animálculos que apareciam nas infusões. Em 1860, dois químicos de Toulouse, Nicolas Joly e Charles Musset, também fizeram análises microscópicas do ar e da poeira, sem achar os microorganismos ou esporos que se esperava encontrar.

Assim, as pesquisas de Pouchet, confirmadas por outros investigadores, pareciam trazer fortes evidências a favor da geração espontânea dos animálculos das infusões.

## 1.3 Geração espontânea, evolucionismo, materialismo

A publicação dos trabalhos de Pouchet coincidiu com a divulgação da teoria de Charles Darwin sobre a origem das espécies. Na França, a idéia de que os animais e plantas vão se transformando com o passar do tempo e produzindo novos seres havia sido defendida no início do século XIX por naturalistas com Jean-Baptiste Lamarck e Geoffroy Saint-Hilaire, mas havia sido fortemente atacada por Georges Cuvier e havia sido abandonada. Na década de 1850 os pesquisadores franceses acreditavam que a origem da vida e das espécies animais e vegetais não era um assunto a ser discutido pela ciência, já que a explicação seria teológica: Deus criou a vida, os animais, as plantas e os seres humanos. No entanto, havia pensadores alemães que defendiam a idéia de que a vida era um fenômeno totalmente natural; e o surgimento da teo-

ria evolucionista de Charles Darwin trouxe de novo uma forte discussão sobre o assunto, a partir de 1859[3]. Darwin não havia discutido a origem dos primeiros seres vivos da Terra, apenas havia defendido a transformação das espécies; mas praticamente todos os leitores da *Origem das espécies* pensaram que a teoria darwiniana incluía também a idéia de que a vida se originou sem nenhuma intervenção divina – como nas teorias anteriores de Lamarck e de Robert Chambers.

Assim, via-se a idéia de geração espontânea como estando associada à teoria da evolução – embora Darwin não defendesse a geração espontânea, e Pouchet não defendesse o darwinismo. Além disso, ambas eram vistas, na França, como representando uma filosofia materialista e anti-religiosa. E esse era um ponto muito delicado, na época.

A França havia passado por fases muito difíceis, nas décadas anteriores. A Revolução Francesa, que havia derrubado o regime monarquista e a influência da Igreja Católica, tinha associado uma visão política progressista, revolucionária e republicana a uma visão filosófica humanista e liberal, e a um ataque ou descaso pela religião católica. Depois de várias oscilações políticas, em 1851 o presidente Louis Bonaparte (sobrinho de Napoleão Bonaparte) conseguiu através de um golpe de Estado dissolver a Assembléia Constituinte francesa e tornar-se imperador (adotando o título de Napoleão III), com apoio da Igreja Católica. Logo impôs um regime autoritário, conservador, no qual a religião tinha um papel importante, pois a educação elementar foi colocada sob o comando da Igreja Católica, e esta tinha também influência no ensino dos outros níveis. A postura da Igreja, por sua vez, tornara-se extremamente rígida e intolerante.

Por causa dessa conjuntura da época, na França, as idéias de geração espontânea e de origem das espécies (que foram consideradas como associadas) eram consideradas perigosas, pois eram vistas como fazendo parte de uma ideologia materialista, anti-

[3] A primeira publicação de Darwin sobre sua teoria é de 1858 (um artigo), mas foi seu livro *The origin of species,* de 1859, que produziu forte repercussão.

religiosa, republicana, revolucionária, capaz de levar ao caos social – contrária aos interesses dominantes.

## 1.4 O Prêmio Alhumbert e as primeiras pesquisas de Pasteur

Como a questão das gerações espontâneas trazia conseqüências não apenas científicas mas também de âmbito filosófico, religioso e até mesmo político, em janeiro de 1860 a Academia de Ciências de Paris ofereceu um prêmio no valor de 2.500 francos (o Prêmio Alhumbert) para o melhor trabalho sobre o assunto. Provavelmente foi a pesquisa de Pouchet que levou à criação desse prêmio. No entanto, a comissão nomeada para julgar os trabalhos tinha vários membros que eram declaradamente contrários à geração espontânea. Houve depois mudanças na comissão, e por fim *todos* os seus membros eram adversários dessa hipótese. Não se tratava, portanto, de um prêmio destinado ao melhor trabalho *a favor ou contra* a geração espontânea, e sim um prêmio para quem fizesse a melhor pesquisa *contrária* a essa idéia considerada tão perigosa.

Louis Pasteur, motivado pelo prêmio Alhumbert, resolveu dedicar-se então a essa questão. No início de 1860 ele era apenas um jovem químico (com 37 anos de idade) que havia estudado fenômenos de cristalografia, de compostos orgânicos assimétricos e de fermentação alcoólica. Ele havia defendido que a fermentação ocorre por causa de microorganismos que se reproduzem e produzem transformações químicas no meio onde estão; e em alguns casos parecia que esses fermentos haviam surgido espontaneamente. Sob o ponto de vista de suas próprias pesquisas, ele não tinha nenhum elemento decisivo sobre o tema. E, não sendo um biólogo, provavelmente não tinha um conhecimento profundo do assunto. No entanto, parece que desde o início ele adotou uma postura contrária à geração espontânea, e isso só poderia ter sido motivado por fatores extra-científicos.

Sabe-se que Pasteur foi um adepto entusiasta de Louis Napoléon e da nova monarquia francesa. Sabe-se que seus valores eram os descritos acima – era um católico convicto, defendia a intervenção de Deus na natureza, atacava o materialismo, era conservador, monarquista. Assim, conforme a situação da época na França, havia uma forte motivação para que ele atacasse e tentasse mostrar que a geração espontânea não existia. É provável que

desde o início de seus estudos sobre geração espontânea ele já tivesse adotado uma posição contrária e quisesse apenas encontrar fatos que justificassem sua opinião.

Nos seus primeiros experimentos, Pasteur tentou mostrar que não surgiam microorganismos quando se fervia água contendo levedo de cerveja, desde que esse líquido fosse mantido sem contato direto com o ar ambiente. Continuavam não aparecendo infusórios ou bolores quando se introduzia ar que tinha sido aquecido a uma alta temperatura (um experimento que já havia sido feito antes por Theodor Schwann). Mas, se fosse introduzido um pedaço de algodão contendo poeira, logo apareciam microorganismos em grande quantidade no líquido. A interpretação de Pasteur era que a infusão não produzia geração espontânea, e que os infusórios surgiam apenas porque a poeira continha alguns microorganismos, ou seus ovos, ou esporos. No entanto, Pasteur não mostrou, por análise microscópica, que realmente houvesse microorganismos na poeira.

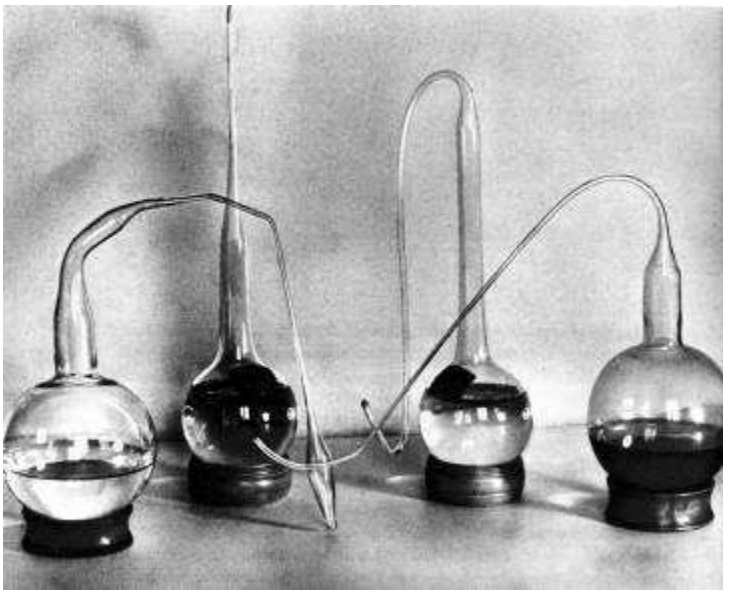


**Figura 7**. Balões de vidro, com infusões estéreis, utilizados por Pasteur em seus experimentos contrários à geração espontânea.

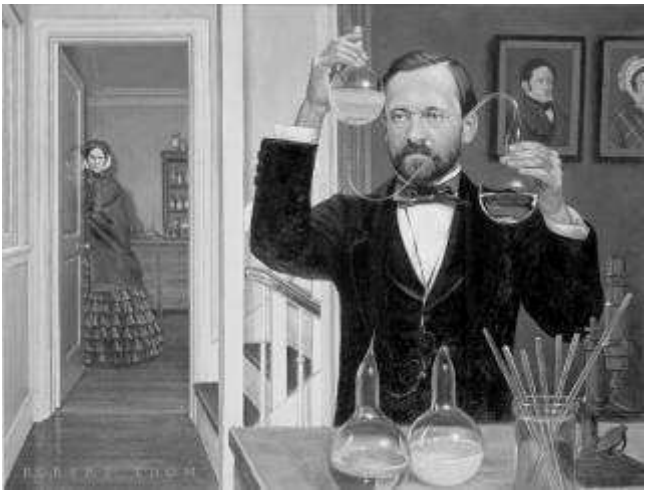


**Figura 8**. Ilustração do artista Robert Thom (1915-1979) representando Pasteur examinando os frascos de vidro com infusões, em seus experimentos sobre geração espontânea. Fonte: <www2.med.umich.edu/prmc/media/newsroom/details.cfm?ID=16>

Note-se que Pasteur não tentou refazer os estudos de Pouchet; ele tomou como ponto de partida a repetição de experimentos que já haviam sido publicados antes *e que tinham dado resultados contrários à geração espontânea*.

A partir dessas primeiras pesquisas, Pasteur elaborou um trabalho que submeteu à comissão do Prêmio Alhumbert. Pouchet, Joly e Musset também se inscreveram, porém depois perceberam que a comissão era totalmente contrária à heterogenia, e retiraram seus trabalhos. Assim, o único candidato foi Pasteur, que recebeu o prêmio em dezembro de 1862.

## 1.5 Os experimentos nas montanhas

Os heterogenistas acreditavam que sempre surgiriam microorganismos em recipientes nos quais houvesse água, ar e material orgânico. No caso dos experimentos de Pasteur, supunham que submeter o ar a uma alta temperatura podia prejudicar sua capacidade de produzir vida. Os críticos da heterogenia acreditavam que podiam existir água, ar e material orgânico sem o surgimento de

microorganismos – eles só apareceriam se fosse introduzido ar externo, ou algum outro agente, que contaminasse a infusão. Mas se fosse introduzido ar livre de germes, não deveriam surgir microorganismos no líquido.

Pasteur imaginou que a grandes altitudes, na atmosfera, não deveriam existir germes, ou apenas muito poucos; e que o ar de grandes altitudes não produziria o surgimento de microorganismos nas infusões. Para testar essa idéia, elaborou em 1860 um experimento interessante. Preparou vários balões de vidro, enchendo-os com água de levedo de cerveja fervida e filtrada, retirando o ar de seu interior e lacrando a abertura dos balões com a chama de um maçarico (figura 4). Não apareciam microorganismos nesses balões, quando eram conservados fechados. Ele subiu então uma montanha, levando muitos desses balões, que abriu a diferentes alturas, lacrando-os logo em seguida novamente com o maçarico. Obteve os seguintes resultados: dos 20 balões que haviam recebido o ar do campo, oito continham corpúsculos organizados; dos 20 abertos sobre uma das montanhas do Jura (850 metros de altitude), cinco continham produções organizadas e dos 20 que foram abertos próximo a *Mer de Glace* (a 2.000 metros de altitude), somente um se alterou.

Este experimento confirmava a idéia de Pasteur de que quanto maior fosse altitude, menor seria a quantidade de corpúsculos organizados que iria se desenvolver na infusão. Trazia, portanto, evidências contrárias à geração espontânea. Entretanto, havia um problema: não era possível observar a presença de germes no ar que entrava nos balões. Por outro lado, o fato de um balão se contaminar após o contato com o ar a uma altitude de 2000 metros não era um resultado esperado.

A expectativa de Pouchet, Joly e Musset era que todos os balões deveriam ter se contaminado. Nesse sentido, eles repetiram o experimento em 1863, indo até os Pirineus Franceses, inicialmente na Rencluse (2.083 metros de altitude) e depois nas geleiras da Montanha Maladetta cuja altitude superava a do Jura em 1.000 metros. Levaram 12 balões contendo infusão de feno fervida durante mais de uma hora e filtrada. Dos 12, 4 se quebraram e dos 8 que restaram 4 foram abertos na Rencluse e 4 na Maladetta. Pouchet, Musset e Joly encontraram corpúsculos organizados em

todos eles. Este resultado confirmava a hipótese da geração espontânea, mas não podia ser explicado pela hipótese de Pasteur.

Como se pode ver, tanto os heterogenistas quanto Pasteur procuravam realizar experimentos cuidadosos, e os resultados não eram muito claros, pois pareciam depender de quem estava fazendo o teste... Cada lado imaginou que o outro estava fazendo alguma coisa de errado e foram feitas várias acusações mútuas.

Atualmente sabemos que os experimentos, dos dois lados, tinham sido bem feitos. Explica-se hoje em dia a diferença entre os resultados obtidos como sendo devida aos diferentes materiais utilizados nas infusões. Somente anos após a realização desses experimentos, ficou conhecido que a água de feno, mesmo sendo fervida durante um longo tempo, ainda é capaz de produzir microorganismos porque o feno contém esporos muito resistentes à alta temperatura. No caso da água de levedo de cerveja, isso não acontece. No entanto, na época em que os experimentos foram realizados, não se sabia isso – pelo contrário, acreditava-se que qualquer microorganismo ou germe seria destruído por uma fervura de meia hora. Assim, naquela época, os resultados obtidos pelos experimentos de Pouchet, Joly e Musset deviam ser considerados como fortes evidências a favor da geração espontânea.

## 1.6 A nova comissão da Academia

Mas retornemos à época decisiva. Para tentar resolver o dilema, Joly e Musset propuseram que os experimentos fossem repetidos diante de uma comissão da Academia de Ciências. Parecia uma boa solução, e todos concordaram com isso. No entanto, a realização dos testes acabou provocando novos problemas. A comissão da Academia queria começar pelos experimentos que tinham dado resultados contrários à geração espontânea. Os heterogenistas não gostaram, porque os primeiros resultados seriam os que mais pesariam diante da opinião pública. No entanto, continuaram aceitando trabalhar com a comissão. Mas no momento em que a Academia permitiu que Pasteur utilizasse o antigo material do Montanvert, ao invés de repetir os experimentos, eles se retiraram alegando que "Na presença de obstáculos completamente inesperados que nos são opostos, nossa consciência nos diz que temos apenas um partido a tomar: é protestar em nome da ciência e reservar os direitos do futuro".

Com a saída dos heterogenistas, a comissão realizou apenas alguns experimentos de Pasteur, obtendo os mesmos resultados que ele obtivera. Os experimentos de Pouchet, Joly e Musset nunca foram repetidos pela Academia de Ciências. Houve uma forte reação pública contra Pasteur e a Academia, mas isso de nada adiantou. Edmond Frémy, diretor do Museu de História Natural, colocou o laboratório à disposição dos heterogenistas, que repetiram seus experimentos diante de testemunhas, com sucesso; mas como essa repetição não foi "oficial", a Academia de Ciências não lhe deu qualquer atenção.

Sob o ponto de vista puramente científico, ou seja, considerando-se os experimentos realizados e os resultados obtidos, não era possível chegar a nenhuma conclusão. Os experimentos de Pouchet e os de Pasteur pareciam muito bem concebidos, mas levavam a conclusões opostas.

Não se pode considerar que esta comissão da Academia de Ciências tenha agido de modo imparcial. Ela parece ter se comportado de forma preconceituosa, privilegiando Pasteur e prejudicando a posição de Pouchet e seus companheiros. Pode-se considerar que não havia o desejo de esclarecer a questão e que houve fatores extra-científicos importantes agindo tanto no caso de Pasteur como no caso dos membros das duas comissões da Academia.

É relevante mencionar que, na época, uma grande parte das pessoas cultas acreditou que Pouchet estava correto e que a Academia havia cometido um erro. A Enciclopédia Larousse, por exemplo, considerava em 1865 que os heterogenistas haviam vencido a disputa. Portanto, a posição da Academia não levou a uma decisão sobre o assunto e continuaram a surgir trabalhos de pesquisa favoráveis à geração espontânea, tanto na França quanto em outros países, durante muito tempo.

## 1.7 Algumas conclusões

Pasteur não provou que a geração espontânea não existe. Ele também não provou que os experimentos de Pouchet e seus companheiros estavam errados. A única coisa que Pasteur mostrou é que certos experimentos que ele fez deram resultados contrários às expectativas dos heterogenistas; mas, inversamente, certos experimentos feitos pelos heterogenistas deram resultados contrários às expectativas de Pasteur. Nos dois casos os experi-

mentos pareciam muito bem feitos. Não era possível concluir nada, a partir deles. Havia um desacordo, mas os dois lados tinham bons argumentos e fatos para apresentar. Isso é bastante comum, na pesquisa científica. As observações e experimentos nem sempre fornecem evidências tão claras que nos permitam tomar decisões sobre o que está sendo discutido. No entanto, mesmo quando as evidências não são claras, é comum que os cientistas tomem decisões. Quando isso ocorre, estão em jogo fatores extra-científicos – no caso aqui estudado, houve influências como as crenças políticas, religiosas e filosóficas das pessoas envolvidas.

Afirmar que houve essas influências não significa dizer que *a única coisa que interessava* eram as crenças de cada lado. Certamente não foi isso que aconteceu. Pasteur e Pouchet dedicaram um grande esforço a seus experimentos e análises. Embora nenhum deles tenha convencido o outro, seus trabalhos não eram meras opiniões baseadas em crenças preconcebidas. Eram conclusões fundamentadas em observações, experimentos e raciocínios.

Costuma-se imaginar que a derrubada da teoria da geração espontânea foi o resultado do desenvolvimento técnico e experimental, como se o aperfeiçoamento de microscópios permitisse "ver" que esse fenômeno não existia. Porém, uma das dificuldades que ocorreram no debate sobre a geração espontânea é que as pessoas discutiam alguns aspectos que não podiam ser decididos diretamente por observações. Estavam entrando ou não microorganismos (ou germes) através do ar? Nem Pasteur nem Pouchet conseguiam examinar ao microscópio o próprio ar que era utilizado nos experimentos, por isso sempre havia aspectos que fugiam à observação. Isso também é muito comum na ciência. As teorias científicas costumam incluir muitas coisas que imaginamos mas que não vemos nem podemos testar, por isso a relação entre teoria e os dados experimentais costuma ser menos direta e mais complexa do que se imagina.

Por fim, é importante comentar que Pasteur não provou *nem poderia ter provado* que a geração espontânea não existe. Mesmo se ele tivesse refeito os experimentos de Pouchet e descoberto que os microorganismos do feno são muito resistentes; mesmo se tivesse conseguido repetir os experimentos de Pouchet matando esses microorganismos e obtendo resultados como os do levedo

de cerveja – o que isso provaria? Ele apenas poderia concluir que *naquele experimento* não ocorreu geração espontânea de infusórios. Mas ele não poderia concluir que *em nenhum experimento* poderia ocorrer a geração espontânea. De um modo geral, uma teoria científica faz afirmações sobre um número *infinito* de casos – sobre todos os casos conhecidos e os que ainda não são conhecidos. E nunca podemos testar experimentalmente um número infinito de casos. Se forem estudados muitos experimentos em que parece haver geração espontânea e em todos eles se descobrir que houve algum equívoco e que não houve na verdade surgimento de seres vivos sem progenitores, isso vai reforçar nossa crença de que não existe geração espontânea, mas não *prova* isso. Poderia haver um experimento que ainda não conhecemos em que a geração espontânea ocorresse. Basta um exemplo positivo para provar uma *possibilidade*; pelo contrário, mesmo mil fracassos não provam uma *impossibilidade*.

Até hoje não temos uma resposta definitiva para a questão da origem da vida na Terra. Por um lado, não temos a possibilidade de viajar no tempo e ver como surgiram os primeiros seres vivos existentes no nosso planeta; nem temos esperanças de que tenham restado vestígios fósseis deles, pois deveriam ser muito pequenos e frágeis. Assim, não podemos confirmar diretamente (por observações) como se deu o surgimento dos primeiros animais e plantas. No entanto, se fosse possível produzir alguns seres vivos em laboratório, de forma artificial (sem partir de outros seres vivos já existentes), seria estabelecida a *possibilidade* de que a vida pudesse ter se originado espontaneamente na Terra, no passado. Por outro lado, se tentarmos produzir seres vivos em laboratório e não conseguirmos, isso *não prova* que a geração espontânea *seja impossível*.

## 2 SEGUNDA PARTE. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DESTA CONTROVÉRSIA

O objetivo deste trabalho é estudar algumas contribuições de Louis Pasteur relativas à geração espontânea, bem como o seu contexto, esclarecendo equívocos muito comuns a respeito do tema.

A primeira parte deste trabalho apresentou uma descrição dos estudos de Pasteur e Pouchet sobre geração espontânea, no seu

contexto, procurando esclarecer os aspectos científicos e extra-científicos da questão[4]. Nesta segunda parte apresentaremos alguns comentários a respeito de como esse tema aparece no ensino de biologia, aprofundando alguns aspectos importantes.

## 2.1 A geração espontânea nos livros-textos

Os livros de biologia de nível médio costumam se referir à história da geração espontânea ao tratar sobre a origem da vida. Geralmente incluem uma descrição bastante extensa, que começa com a Antigüidade (Aristóteles), falam sobre a idéia de van Helmont de produzir ratos a partir de roupas sujas misturadas com trigo, referem-se aos experimentos de Redi que mostram que as moscas não são geradas espontaneamente na carne podre, descrevem os experimentos de Needham e Spallanzani no século XVIII e costumam concluir com os experimentos de Pasteur no século XIX, os quais teriam "provado" que a geração espontânea não existe. Alguns textos falam também sobre a questão da origem da vida na Terra e se referem, às vezes, aos trabalhos de Oparin e outros mais recentes sobre a questão.

A longa descrição histórica sobre as idéias de geração espontânea que costuma ser apresentada nos livros-texto transmite aos estudantes a impressão de que a ciência evolui de uma forma linear: inicialmente existem idéias muito tolas e sem fundamento de que a vida pode surgir espontaneamente; e os autores antigos que defendiam essa idéia chegam a ser ridicularizados pelos livros didáticos. Depois, são apresentados alguns autores (como Redi) que conseguem estabelecer que certos animais (por exemplo, as moscas) não são gerados espontaneamente, e que são elogiados e considerados às vezes como estando "à frente de seu tempo". A controvérsia entre Spallanzani e Needham, no século XVIII, costuma ser utilizada para transmitir a lição de que as pessoas podem fazer experimentos mal-feitos (Needham) ou que, mesmo quando fazem experimentos muito bons (Spallanzani), as pessoas da época podem não ter condições de abandonar suas crenças antigas e

[4] Em sua maior parte, a descrição aqui apresentada está baseada em Martins & Martins, 1989. Ver também Martins, 2006.

"ver a verdade". Por fim, o triunfo da ciência experimental teria ocorrido no século XIX, com Pasteur, que resolveu todos os problemas e convenceu a todos de que não existe geração espontânea.

Há muitos problemas nessa história apresentada pelos livros didáticos – ou, poderíamos dizer melhor, nessa "pseudo história", já que se trata de uma versão falsa da história (ver Allchin, 2004). Por um lado, ao tentar apresentar uma história de mais de dois mil anos de extensão, as obras selecionam apenas alguns episódios dispersos e os tratam de forma superficial, impedindo que os estudantes compreendam o que realmente estava acontecendo em cada caso. É inevitável que surjam erros históricos, em descrições desse tipo. Por outro lado, toda a concepção epistemológica e histórica que está por trás dessas narrativas é equivocada, transmitindo uma visão ingênua e errada sobre como a ciência se desenvolve e como ela é fundamentada. Por fim, o debate sobre geração espontânea é apresentado como algo isolado, não se mostrando sua conexão com outras discussões científicas importantes, como a teoria da evolução (no século XIX).

## 2.2 A geração espontânea antes do século XIX

Não recomendamos que os livros didáticos e os professores tentem contar a "longa história" da geração espontânea. No entanto, se isso for feito, é necessário que cada episódio seja analisado com cuidado, baseado em boas fontes. As idéias de Aristóteles sobre geração espontânea, por exemplo, não são nem um pouco simples ou tolas (Martins, 1990). Deve-se enfatizar que se conhecia muito bem o processo de reprodução sexual da maioria dos animais, e apenas se explicava através da geração espontânea o nascimento de seres vivos para os quais não tinham sido identificados os machos, ou as fêmeas, ou para os quais não fossem conhecidos os órgãos sexuais e o processo de reprodução (McCartney, 1920, pp. 102-102?).

É importante evitar descrições equivocadas, como por exemplo: "Antigas doutrinas da Índia, da Babilônia e do Egito ensinavam que rãs, cobras e crocodilos eram gerados pelo lodo dos rios. Esses seres, que apareciam inexplicavelmente no lodo e no lixo, eram encarados como manifestações da vontade dos deuses e gerados espontaneamente. Mesmo filósofos importantes, com Platão e Aristóteles, aceitavam tal explicação sobre a origem dos

seres vivos"[5]. Tal descrição é totalmente incorreta. Existia, de fato, a noção antiga de que os sapos podiam nascer da lama, mas ela não aparece nas obras de Platão e de Aristóteles e sim em textos literários, como as *Metamorfoses* de Ovídio (McCartney, 1920, p. 109). Aristóteles estudou detalhadamente a anatomia e o processo de reprodução de dezenas de animais diferentes, e sabia que rãs, cobras e crocodilos eram gerados sexualmente. Além disso, mesmo nos casos para os quais aceitou a geração espontânea, Aristóteles jamais se referiu à "vontade dos deuses" como tendo qualquer interferência no fenômeno... Para ele, seria um fenômeno puramente natural. Também não se deve afirmar que "Suas idéias [de Aristóteles] sobre a origem da vida, por exemplo, baseavam-se na existência de um *princípio ativo* (ou princípio vital), capaz de produzir matéria viva a partir da matéria bruta, quando em condições favoráveis". Para Aristóteles, a vida nunca poderia surgir da matéria inanimada (inorgânica, mas apenas a partir da matéria de outros seres vivos). E ele não se referiu a tal "princípio ativo ou vital". Suas concepções sobre o conceito de vida são extremamente sofisticadas e interessantes e não devem ser distorcidas dessa forma (Martins & Martins, 2007).

De Aristóteles, os livros didáticos costumam pular para Jan van Helmont (cujo nome contém "van" e não "von", como se lê em alguns livros didáticos). Esse salto, e a menção de que van Helmont apresentou uma "receita para produzir camundongos"[6], dá aos alunos a impressão de que todas as pessoas até essa época eram tolas e ignoravam os processos de reprodução dos animais superiores – o que é totalmente falso. É preferível abolir a menção a esses experimentos, ou então apresentar uma visão mais equilibrada, mencionando os conhecimentos que já existiam sobre a geração dos animais, na época, e também mencionando o contex-

[5] A mesma idéia aparece de forma um pouco menos explícita em outras obras didáticas.

[6] "Se comprimirmos uma camisa suja no orifício de um recipiente contendo grãos de trigo, o fermento que sai da camisa suja, modificado pelo odor do grão, produz a transmutação do trigo em camundongos depois de aproximadamente vinte e um dias [...]".

to em que van Helmont se referiu ao surgimento de camundongos (ver Allchin, 1993; Allchin, 2000). É curioso que ridicularizar van Helmont já era uma estratégia utilizada pelo próprio Pasteur, em 1864, para tentar convencer seu público de que a geração espontânea era uma idéia estúpida: "Eis, senhores, as experiências que, no século XVII, apoiavam a doutrina da geração espontânea" (Pasteur, 1922, vol. 2, p. 329).

Depois de van Helmont, os livros didáticos costumam mencionar Francesco Redi (1626-1691) e seus experimentos com moscas. Como nos outros casos, os experimentos são descritos fora de qualquer contexto. O que Redi estava estudando e por qual motivo? Por falta de tempo e espaço, os textos descrevem apenas os experimentos em que Redi colocava pedaços de carne ou peixe em alguns recipientes abertos e em outros fechados, etc. No entanto, ele inicialmente nem mesmo estava preocupado com moscas. Estava estudando os *vermes* que apareciam em animais mortos, e tentando entender como eles surgiam. Apenas posteriormente, observando o que acontecia durante várias semanas, ele descobriu que esses vermes se transformavam em moscas de vários tipos. Só então ele pensou que os vermes poderiam ter sido produzidos por moscas, que teriam depositado ovos na carne, e passou a fazer uma série de experimentos sobre o assunto.

**Figura 9**. Francesco Redi (1626-1691) e sua obra sobre a geração dos insetos, publicada em 1668.

A descrição detalhada do trabalho de Redi seria muito mais interessante do que a menção sucinta que costuma ser apresentada (Weiss, 1926). Além disso, é essencial mencionar que Redi concluiu também, em outros estudos, que era possível o surgimento de insetos nas galhas das plantas, sem progenitores da mesma espécie; e que também aceitou o surgimento espontâneo de vermes intestinais (*ibid.*, p. 222; Farley, 1972a, p. 96). Portanto, ao contrário do que os livros didáticos costumam afirmar, Redi não foi um adversário de todas as formas de geração espontânea; e seus experimentos apenas mostraram *em um caso particular* que os vermes que apareciam na carne podre não eram gerados espontaneamente e sim provinham de moscas. Não se podia concluir, a partir daí, que não existia a geração espontânea *de nenhum tipo de ser vivo, em nenhuma situação*.

Os experimentos de John Needham e Lazzaro Spallanzani, no século XVIII, costumam ser o passo seguinte das descrições didáticas. Novamente nota-se o problema de descrições descontextualizadas, além de tendenciosas – pois procuram mostrar que Spallanzani, que se opôs à geração espontânea, tinha razão, e Needham estava errado[7]. Se esse episódio for tratado, deve ser apresentado de forma mais detalhada, mostrando-se que a situação era bastante confusa e que os experimentos de Spallanzani não permitiam uma conclusão clara contra a geração espontânea de microorganismos (Martins & Martins, 1989, pp. 8-10; Doetsch, 1976).

Nenhum dos livros didáticos consultados para a presente pesquisa chegou a mencionar a questão, extremamente importante, da origem dos vermes intestinais. Durante o século XVIII o tema foi muito discutido, e a posição dominante foi que eles eram gerados espontaneamente (Farley, 1972a). Em 1780 a Academia de Ciências de Kopenhagen ofereceu um prêmio para os melhores trabalhos sobre a origem dos vermes intestinais. Os dois primeiros prêmios, obtidos por Marcus Bloch e Johann Goeze, defendiam que esses parasitas eram gerados espontaneamente (*ibid.*, p. 98). Existiam pessoas que supunham que esses vermes vinham do

[7] Essa é a visão mais comum mesmo em artigos específicos sobre o assunto, como Ariatti & Mandrioli, 1993.

exterior, mas a idéia de geração espontânea parecia mais plausível, na época. Bloch apresentou uma grande quantidade de fatos que reforçavam a idéia de que os vermes apenas conseguem viver dentro de animais, não podendo assim ter vindo de fora (*ibid.*, p. 106). Suas principais conclusões foram que os vermes nunca são encontrados fora do corpo de animais; às vezes são encontrados em animais recém-nascidos que ainda não tiveram contato com o ambiente externo; alguns vermes são encontrados em partes do corpo que não têm comunicação com o exterior; eles morrem rapidamente quando são retirados do corpo do animal onde vivem; os vermes intestinais são totalmente adaptados à vida no interior de outros seres vivos, sendo providos de ganchos e sugadores, mas desprovidos de outros órgãos que lhes permitissem viver fora deles (*ibid.*, pp. 106-107). Tudo isso reforçava a idéia de que eles eram gerados espontaneamente.

## 2.3 A geração espontânea e o evolucionismo no século XIX

A discussão sobre geração espontânea, no século XIX, envolvia dois tipos de seres vivos: os "infusórios" (microorganismos que pareciam surgir espontaneamente em infusões de vegetais ou de animais) e os vermes intestinais. Normalmente as análises históricas somente comentam sobre a questão dos seres microscópicos, mas parecia pelo menos tão importante, na época, compreender o surgimento de vermes intestinais (Farley, 1972a, p. 95). No período que nos interessa, não estava em discussão a possibilidade de realizar experimentos sobre *abiogênese* – surgimento de seres vivos a partir de matéria inorgânica – e sim sobre *heterogenia* – o surgimento de um tipo de ser vivo a partir de matéria de outro ser vivo diferente (Farley, 1972a, p. 96). Imaginava-se que a partir de matéria orgânica de seres mortos podiam surgir espontaneamente infusórios e cogumelos; e que a partir de matéria orgânica viva podiam surgir parasitas, como as tênias. Os livros didáticos apenas mencionam duas possibilidades – biogênese e abiogênese – o que não está de acordo com a história, e confunde a questão.

Sobre o período do século XIX, os textos de biologia apenas mencionam a controvérsia entre Pouchet e Pasteur – ou, mais comumente, falam apenas sobre Pasteur. Nenhum dos livros didáticos consultados se refere à relação entre geração espontânea e teoria da evolução. Este ponto se torna central, no entanto, no

século XIX – inicialmente, na teoria da progressão dos animais de Lamarck (Martins, 1994; Martins, 2007, cap. 2), depois em outras propostas, como as de Robert Chambers e de Ernst Haeckel (Farley, 1972b). Este é um ponto fundamental que *precisa* ser abordado, já que toda a discussão da controvérsia entre Pouchet e Pasteur tem como pano de fundo, a teoria da evolução de Darwin e sua rejeição na França.

É relevante também saber que, antes dos trabalhos de Pouchet e Pasteur, houve outros desenvolvimentos importantes na discussão do tema. Em torno de 1840 os trabalhos de Christian Ehrenberg abalaram a crença na geração espontânea dos infusórios. Ele mostrou que os ciliados podiam ser classificados em espécies bem distintas, possuindo estruturas complexas como os animais superiores, e que se reproduzem, como aqueles. Mostrou também que os microorganismos que surgem nas infusões não dependem do material que é fervido (Farley, 1972a, p. 116). Por isso, defendeu que não poderiam ser gerados espontaneamente. Na década de 1840, os trabalhos de Japetus Steenstrup e Carl Theodor von Siebold sobre gerações alternadas mostrou que alguns vermes intestinais provinham de animais que viviam externamente mas que tinham uma aparência muito distinta (*ibid.*, p. 117). Os trabalhos de Félix Pouchet e de Louis Pasteur ocorreram depois de todos esses desenvolvimentos que levaram ao abandono da geração espontânea dos vermes intestinais.

No início do século XIX, quando Lamarck propôs sua teoria, a idéia de geração espontânea era perfeitamente aceitável (Farley, 1974, p. 290). No entanto, durante a década de 1850, a crença na geração espontânea dos vermes intestinais já havia caído; e a geração espontânea dos infusórios estava também sendo questionada.

Na época em que se travou a disputa entre Pouchet e Pasteur, estava novamente sendo discutida a abiogênese, principalmente por influência da obra de Darwin, que levou a uma discussão sobre a origem da vida (Farley, 1972a, p. 125).

Na primeira edição do seu livro *The origin of species* Darwin tocou nesse ponto de uma forma vaga: "Portanto, eu poderia inferir por analogia que todos os seres orgânicos que jamais viveram nesta Terra são descendentes de alguma forma primordial única, na qual a vida foi soprada pela primeira vez" (Darwin, 1859, p. 484). Quem quisesse, poderia entender que Darwin estava se refe-

rindo ao sopro de Deus; quem preferisse, poderia entender como uma visão puramente naturalista, sem conotação religiosa.

Embora Darwin tivesse deixado uma porta aberta para Deus no tocante à origem da vida, seus leitores não o interpretaram dessa forma; tanto os alemães quanto os franceses compreenderam que em uma visão evolucionista coerente, a própria origem da vida devia ser atribuída a forças naturais (Farley, 1974, p. 289; Farley, 1978, p. 150). Por isso, todos os autores católicos franceses que se posicionaram contra a teoria darwiniana da evolução atacaram fortemente a idéia de que a vida poderia surgir espontaneamente. Marie Jean Pierre Flourens (1794-1867) escreveu um livro criticando Darwin, no qual quase 1/3 das páginas eram dedicadas à refutação da geração espontânea (Farley, 1978, p. 150). Os defensores da geração espontânea eram rotulados de materialistas e ateus (*ibid.*, p. 143).

É interessante mencionar que Pouchet não era um evolucionista, mas seu trabalho foi considerado como favorável a Darwin (Farley, 1974, p. 292).

A recepção das idéias de Charles Darwin foi muito diferente na França e na Alemanha, por exemplo. Os pensadores alemães aceitaram a teoria da evolução com entusiasmo, enquanto os franceses a rejeitaram com veemência (Farley, 1974, p. 275). O historiador John Farley atribui essa reação negativa a vários fatores: em primeiro lugar, porque na França já havia ocorrido, algumas décadas antes, um debate relativo às idéias evolucionistas de Lamarck e Saint-Hilaire, e Cuvier havia sido considerado o vencedor (*ibid.*, p. 279). Outro ponto é que os franceses acreditavam que Deus tinha um papel importante no mundo natural (*ibid.*, p. 275).

A própria situação política e social da época na França, pode ter contribuído para uma postura religiosa e conservadora, contrária às idéias de Darwin. O grupo de suporte do golpe de Estado de Louis Napoléon, em 1851, e do surgimento do Segundo Império, era constituído por monarquistas católicos, apoiados diretamente pela Igreja (Farley, 1974, p. 284).

Na mente de todos os franceses, na época, havia uma íntima relação entre religião católica, monarquia e ordem social, por um lado, e ateísmo, republicanismo, revolução e desordem, de outro.

Desde 1850, a Igreja Católica havia retomado o controle da educação elementar na França, além de ganhar maior força nos

outros níveis (Farley, 1978, p. 147). Deve-se notar que, nessa época, a Igreja Católica era extremamente fechada e conservadora, e que em 1864 o papa Pio IX promulgou uma encíclica na qual apontava como um erro a idéia de que a religião católica poderia e deveria entrar em sintonia com o progresso, o liberalismo e a civilização moderna (*ibid.*, p. 148).

A primeira tradução francesa do *Origin of species* apareceu em 1862. A tradutora, Clémence Royer, era conhecida como republicana, materialista e anti-católica, tendo aproveitado o prefácio da tradução para deixar claras suas posições. Naquela situação, apoiar Darwin correspondia a combater o catolicismo e a própria monarquia (Farley, 1974, pp. 285-287; Farley, 1978, p. 147). E as reações na França contra Darwin, por Paul Janet, Paul Chauffard, Ernest Faivre, Pierre Flourens, Henri Milne-Edwards, Charles Naudin e outros, faziam menção a aspectos religiosos e sociais (Farley, 1974, p. 288).

## 2.4 Pasteur e os fatores extra-científicos

Até meados do século XX, a história da geração espontânea geralmente aceita era a versão contada pelo próprio Pasteur (Farley, 1978, p. 153). Nessa versão, que até hoje está presente nos livros didáticos, Pasteur teria conseguido derrubar definitivamente a teoria da geração espontânea através de um conjunto de brilhantes experimentos.

No entanto, como já vimos, havia experimentos tanto favoráveis quanto contrários à geração espontânea. Diante da dificuldade de chegar a uma decisão experimental, as posições adotadas pelos cientistas eram influenciadas por outras crenças que eles tinham – por exemplo, a respeito da natureza da vida, sobre a constituição do protoplasma, sobre a natureza da putrefação e da fermentação, etc. Além disso, suas crenças teológicas, políticas e sociais também tiveram importância (Farley, 1978, p. 144).

John Farley e Gerald L. Geison pesquisaram de forma bastante detalhada os aspectos sociais, políticos e religiosos associados ao debate entre Pasteur e Pouchet. – aspectos que haviam sido praticamente ignorados pelos historiadores e filósofos da ciência até a década de 1970 e que continuam a ser ignorados pelos professores e cientistas hoje em dia.

> Os cientistas ainda relutam em admitir que fatores extra-científicos desempenham qualquer papel significativo na empreitada científica. Embora concordem que os fatores sociais e econômicos influenciem a qualidade e quantidade da produção científica, eles estão menos prontos a aceitar que os cientistas permitem que tais fatores influenciem seja as escolhas que fazem entre teorias científicas em conflito, ou a própria formação das teorias. A imagem que desejam transmitir de si próprios é de "pesquisadores racionais, de mente aberta, que procedem de forma metódica, baseando-se de modo não controverso no resultado de experimentos, e buscando a verdade objetivamente, seja qual for o resultado (Farley, 1978, p. 143).

Uma controvérsia científica é uma disputa *pública* a respeito de temas científicos, envolvendo participantes que têm opiniões discordantes e que tentam defendê-las utilizando argumentos que, pelo menos em parte, são baseados em observações, experimentos e argumentos racionais. Por causa de envolver uma temática e argumentos relativos à ciência, tal tipo de controvérsia tem uma componente *interna* ou *epistêmica*; mas por se tratar de um debate público, contém também uma componente *externa*, *não-epistêmica* ou *social* (McMullin, 1987, pp. 59-61).

Os fatores sociais, teológicos e políticos influenciaram não apenas o público, mas também alguns dos principais envolvidos no debate sobre geração espontânea, como Pasteur. Deve-se também levar em conta que as duas comissões instituídas pela Academia de Ciências de Paris para analisar o tema eram constituídas exclusivamente por católicos, alguns dos quais já haviam atacado publicamente a geração espontânea (Farley, 1978, p. 150).

Em uma palestra apresentada na Sorbonne em 1864, o próprio Pasteur deixou bem clara a conexão entre sua atitude no debate sobre geração espontânea e outros temas mais amplos:

> Surgiram entre os sábios naquela época controvérsias muito vivas, assim como hoje há controvérsias igualmente vivas, ainda mais apaixonadas porque possuem uma repercussão na opinião pública, sempre dividida, como vocês sabem, entre duas grandes correntes de idéias, tão velhas quanto o mundo, e que atualmente são chamadas de materialismo e espiritualismo. Que conquista, senhores, para o materialismo, se ele pudesse alegar que se apóia sobre o fato confirmado da matéria se organizar por si mesma, tomando vida por si própria; a matéria, que em si mesma possui

> todas as forças conhecidas! [...] Ah, se pudéssemos adicionar-lhe essa outra força que se chama vida, e a vida variável em suas manifestações conforme as modificações de nossos experimentos, o que haveria então de mais natural do que divinizar essa matéria? Para que serviria recorrer à idéia de uma criação primordial, diante de cujo mistério é necessário se inclinar? Para que serviria a idéia de um Deus criador? [...]
>
> Assim, senhores, admitindo-se a doutrina da geração espontânea, a história da criação e da origem do mundo orgânico não é mais difícil do que isso. Toma-se uma gota de água no mar, dessa água (o sr. Michelet o desenvolveu em belas páginas) que contém um pouco de matéria azotada, de muco do mar, de geléia fecunda como ele a chama, e, no seio dessa matéria inanimada, nascem espontaneamente os primeiros seres da criação, depois pouco a pouco eles se transformam e sobre na escala, por exemplo em dez mil anos ao estado de insetos, e ao fim de cem mil anos, sem dúvida, ao estado de macacos e de homens.
>
> Compreendeis agora a ligação que existe entre a questão das gerações espontâneas e esses grandes problemas que enumerei no início? Mas, senhores, em um assunto como esse, basta de poesia como essa, de fantasia e de soluções instintivas; chegou o tempo em que a ciência, o verdadeiro método, retome e exerça seus direitos (Pasteur, 1922, pp. 332-334).

Note-se que Pasteur enfatizou a relação entre geração espontânea, teoria da evolução, materialismo e ateísmo, em um esforço retórico de convencer sua audiência de que estava atacando uma doutrina perversa e defendendo a ordem e a verdade religiosa.

A descrição usualmente apresentada da controvérsia é idealizada e apresentada como se os "bons" cientistas (como Pasteur) tivessem abordado o assunto sem idéias preconcebidas, e os experimentos tivessem permitido concluir que não existe geração espontânea. Na verdade, os experimentos foram feitos para tentar confirmar idéias preconcebidas de seus autores (Farley, 1978, p. 144).

Por que Pasteur se tornou tão popular e respeitado? A resposta mais comum é que ele foi um excelente cientista e, por isso, adquiriu excelente reputação. Mas a resposta pode não ser tão simples, já que outros excelentes pesquisadores da época, como Robert Koch, não adquiriram o mesmo nível de popularidade

(Hendrick, 1991, p. 470). A explicação da popularidade de Pasteur exige que sejam analisados vários aspectos, como sua personalidade, sua posição social, suas estratégias de comunicação, e as forças políticas e sociais à sua volta. Ele era de ascendência humilde e se esforçou muito para se tornar poderoso e rico – terminou sua vida no grupo cuja riqueza era superior à dos outros 99% dos franceses (Hendrick, 1991, p. 470). Procurou escolher assuntos de pesquisa que tinham grande interesse, e utilizava estratégias de propaganda para se tornar conhecido pelo grande público (Hendrick, 1991, p. 471).

Em dezembro de 1851, Louis Napoléon dissolveu a Assembléia Constituinte e proclamou-se imperador da França (com o título de Napoleão III). Pasteur imediatamente declarou-se partidário do novo líder (Geison, 2007, p. 2123). Posteriormente, Pasteur conseguiu acesso direto à família imperial, recebendo honrarias e apoio para seus trabalhos. Até a deposição de Napoleão III, em 1870, Pasteur esteve estreitamente associado ao poder imperial e à sua ideologia. Em 1867, por exemplo, usando sua autoridade como Diretor da *École Normale*, Pasteur reprimiu os estudantes que pediam liberdade de expressão e que se manifestavam contra a monarquia (*ibid.*, p. 2124). Considerava correta a manutenção da ordem social e política pela força, conforme a prática de Napoleão III (Hendrick, 1991, p. 472).

> Resumindo, Pasteur exprimia, geralmente sob formas exageradas, os valores básicos, os pressupostos e hábitos da classe dominante de sua época. Patriotismo extremo, comprometimento com a ordem social existente, devoção à sua família, autodisciplina e amor pelo trabalho, um esforço para ter sucesso na carreira, preocupação extraordinária com limpeza física: todos esses aspectos produziam uma sintonia em milhões de franceses, especialmente os pertencentes a amplas e influentes classes médias (Hendrick, 1991, p. 473).

Como John Farley apontou muito adequadamente, aqueles que atacavam a geração espontânea defendiam idéias *que não podiam ser provadas experimentalmente.*

> Argumentando que todos os organismos surgem de pais ou, inversamente, que nenhum organismo surge espontaneamente, eles se defrontavam com a situação desconfortável de que nenhuma

> dessas afirmações pode ser provada conclusivamente, mas ambas podem ser facilmente derrubadas. Por outro lado, os proponentes da geração espontânea, defendendo que alguns organismos, mas não todos, podem surgir espontaneamente, mantinham uma crença que não pode ser refutada mas que pode ser provada. Sob o ponto de vista lógico, portanto, os oponentes da geração espontânea podiam apenas invalidar experimentos particulares que parecessem ilustrar sua ocorrência (Farley, 1978, p. 144).

Nils Roll-Hansen nega essa análise, afirmando que não havia tal assimetria lógica entre os dois lados. Segundo ele, tratava-se de duas teorias rivais, com *status* semelhante e com iguais dificuldades e limitações metodológicas (Roll-Hansen, 1979b, p. 95; Roll-Hansen, 1983, p. 496). Cada um dos lados tinha a obrigação de propor afirmações *gerais* que pudessem ser testadas – por exemplo, afirmar que sob certas circunstâncias *sempre* ocorreria a geração espontânea (Roll-Hansen, 1983, p. 497).

Podemos concordar *parcialmente* com Roll-Hansen, no sentido de que a controvérsia não mostra a existência de um relativismo extremo na ciência: ela não foi uma luta irracional dirigida apenas por fatores extra-científicos, mas envolveu argumentos, experimentos, etc. No entanto, o episódio parece mostrar que as atitudes tomadas durante a controvérsia foram, sim, fortemente influenciadas pelos fatores extra-científicos.

## 2.5 Pasteur nos livros didáticos

Os textos didáticos de Biologia mencionam Pasteur como sendo aquele que "provou conclusivamente" que a geração espontânea não existe. Muitos deles afirmam que, depois dos experimentos de Pasteur, todos aceitaram suas conclusões. Pouchet não costuma ser mencionado, assim os estudantes ficam com a impressão errônea de que tudo estava perfeitamente claro, na época, e que os *únicos* experimentos existentes eram contrários à geração espontânea.

Vejamos alguns exemplos: "Pasteur foi contemplado com o prêmio da Academia de Ciências. A partir de então, os críticos da biogênese calaram-se". "Segundo Pasteur: 'A doutrina da geração espontânea jamais se reerguerá do golpe mortal que acaba de receber com esta simples experiência'. Realmente, a partir daí, a

abiogênese caiu em descrédito completo, triunfando definitivamente a idéia da biogênese".

Os mesmos livros afirmam que Pasteur *provou* que a geração espontânea não existe através de experimentos: "Somente por volta de 1860, com os experimentos realizados por Louis Pasteur (1822-1895), conseguiu-se provar definitivamente que os microorganismos surgem a partir de outros preexistentes. [...] A hipótese da biogênese passou, a partir de então, a ser aceita universalmente pelos cientistas". "Por estranho que pareça, essas idéias [geração espontânea] foram aceitas até meados do século XIX. Foi o francês Louis Pasteur quem conseguiu derrubar essa teoria, de forma definitiva, por meio de alguns experimentos simples". "Essas experiências [de Pasteur] sepultaram definitivamente a teoria da geração espontânea" . "Com esse experimento, Pasteur provou definitivamente que mesmo um organismo tão simples como uma bactéria não podia ser gerado a partir de matéria inanimada".

Todas essas afirmações não são procedentes, como vimos acima. Note-se que não está em questão *apenas* uma descrição histórica errada. As descrições históricas equivocadas sobre a contribuição de Pasteur transmitem uma concepção errônea sobre a ciência. Sugerem que a humanidade passa por uma longa fase de erro, simplesmente porque as pessoas não sabem fazer ciência; e que depois, graças ao trabalho de um gênio, que faz experimentos excelentes, tudo se esclarece definitivamente. Transmitem também a idéia de que através de um experimento é possível chegar a decisões definitivas; e que todos se convencem imediatamente sobre a verdade daquilo que os "grandes cientistas" "provaram".

Uma descrição mais adequada deste episódio, como a que foi apresentada na primeira parte deste trabalho, fugindo à pseudo-história e baseando-se no estudo aprofundado da documentação existente sobre o período, permite transmitir mensagens importantes a respeito da natureza da ciência como, por exemplo (Pumfrey, 1991):

- A natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- Teorias científicas não são induções, mas hipóteses que vão necessária e imaginativamente além das observações;
- Teorias científicas não podem ser provadas;

- O raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, religiosos e culturais;
- Os cientistas não constróem deduções incontestáveis, mas fazem complexos julgamentos especializados;
- O desacordo é sempre possível.

## 2.6 Depois de Pasteur e Pouchet

Como os livros didáticos afirmam que Pasteur resolveu definitivamente o problema em torno de 1860, eles não se referem aos estudos posteriores. É importante mencionar que muitos pesquisadores continuaram a aceitar a geração espontânea, durante o século XIX (ver Martins, 2006).

Após o debate com Pouchet e seus colaboradores, Pasteur se deparou com outros cientistas que defendiam a possibilidade da existência da geração espontânea de alguns microorganismos como, por exemplo, o médico escocês Charlton Bastian (1837-1915) com quem Pasteur, em 1877, desenvolveu uma discussão acerca dos resultados obtidos em alguns experimentos realizados com a urina. Isto mostra que a situação ainda não estava resolvida (Strick, 1999). Em seus experimentos Bastian utilizou a urina esterilizada, à qual adicionou potassa líquida fervida, mantendo os frascos aquecidos a uma temperatura de 50° C. Observou que ocorria a fermentação e em poucos dias a urina estava repleta de bactérias.

Em seus experimentos anteriores Pasteur aquecera a urina a 100° C durante alguns minutos, pois considerava que esta era uma condição que impedia o aparecimento de microorganismos. Bastian alegava que os resultados obtidos por Pasteur se deviam ao excesso de aquecimento da potassa, o que teria tornado o meio alcalino e, portanto impróprio à produção de microorganismos. Pasteur alegava que Bastian tinha aquecido por pouco tempo a solução aquosa de potassa e que ela estava contaminada com germes de microorganismos provenientes da água, da potassa ou dos recipientes empregados. Bastian refez os experimentos aquecendo a potassa líquida a 110° C tomando todas as precauções. Mesmo assim os microorganismos continuaram aparecendo na solução. Mais uma vez se estava diante de um impasse e a solução seria repetir os experimentos de ambas as partes publicamente diante de uma comissão. Novamente se recorreu à Academia de Ciências

de Paris para resolver o impasse. Entretanto, apesar de Bastian ter feito uma viagem a Paris, não aconteceu o que fora combinado e os experimentos de ambas as partes acabaram não sendo repetidos diante da Comissão. No episódio da controvérsia entre Pasteur e Bastian, como na anterior entre Pouchet e Pasteur, a Academia de Ciências tomou uma atitude que favorecia claramente Pasteur, em vez de adotar uma posição neutra. A postura de outras pessoas envolvidas no episódio, como Thomas Huxley, por exemplo, também não foi neutra (Strick, 1999).

Pode-se perceber que a história da geração espontânea é bem diferente daquilo que é contado nos livros didáticos; e que apresentar uma versão histórica mais fiel permite mostrar aos estudantes muitos aspectos importantes sobre a natureza da ciência, que ficam ocultos na abordagem tradicional.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa. Os agradecimentos se estendem também ao Prof. Roberto de A. Martins por suas críticas e sugestões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLCHIN, Douglas. Reassessing van Helmont, reassessing history. *Bioscene* **19**: 3-5, 1993.

——. How *not* to teach history in science. *Journal of College Science Teaching* **30**: 33-37, 2000.

——. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* **13**: 179-195, 2004.

ARIATTI, Annalisa; MANDRIOLI, Paolo. Lazzaro Spallanzani: A blow against spontaneous generation. *Aerobiologia* **9**: 101-107, 1993.

DARWIN, Charles Robert. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray, 1859.

DOETSCH, Raymond N. Lazzaro Spallanzani's *Opuscoli* of 1776. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **40**: 270-275, 1976.

FARLEY, John. The spontaneous generation controversy (1700-1860): the origin of parasitic worms. *Journal of the History of Biology* **5**: 95-125, 1972 (a).

——. The spontaneous generation controversy (1859–1880): British and German reactions to the problem of abiogenesis. *Journal of the History of Biology* **5**: 285-319, 1972 (b).

——. The initial reaction of French biologists to Darwin's 'Origin of species'. *Journal of the History of Biology* **7**: 275-300, 1974.

——. The social, political and religious background to the work of Louis Pasteur. *Annual Review of Microbiology* **32**: 143-154, 1978.

FARLEY, John; GEISON, Gerald. Science, politics and spontaneous generation in 10th century France: the Pasteur-Pouchet debate. *Bulletin of the History of Medicine* **48**: 161-198, 1974.

GEISON, Gerald L. Pasteur, Louis. Vol. 3, pp. 2119-89, *in*: GILLIESPIE, Charles Coulston (ed.). *Dicionário de biografias científicas*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007. 3 vols.

HENDRICK, Robert. Biology, history and Louis Pasteur: a new approach to teaching science. *The American Biology Teacher* **53**: 467-478, 1991.

JOLY, N. *La generation spontanée*. Paris: G. Bailliére, 1865.

MACCARTNEY, Eugene S. Spontaneous generation and kindred notions in Antiquity. *Transactions and Proceedings of the American Philological Association* **51**: 101-115, 1920.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Aristóteles e a geração espontânea. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] **2** (2): 213-237, 1990.

——. O papel da geração espontânea na teoria da progressão dos animais de J. B. Lamarck. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* (11): 57-65, 1994.

——. A História da Ciência e o ensino da Biologia. *Ciência & Ensino* (5): 18-21, 1998.

——. A geração espontânea a origem da vida. *Scientific American Brasil*. [Série História] (6): 27-31, 2006.

——. *A teoria da progressão dos animais, de Lamarck*. Rio de Janeiro: Booklink, 2007.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; MARTINS, Roberto Andrade. Geração espontânea: dois pontos de vista. *Perspicillum* **3** (1): 5-32, 1989.

MARTINS, Roberto Andrade; MARTINS Lilian Al-Chueyr Pereira. Uma leitura biológica do *De anima* de Aristóteles. *Filosofia e História da Biologia* **2**: 405-426, 2007.

MCMULLIN, Ernan. Scientific controversy and its termination. Pp. 49-91, *in:* ENGELHARDT Jr., H. Tristram; CAPLAN, Arthur L. (eds.). *Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

PASTEUR, Louis. *Oeuvres*. Tome II. Fermentations et générations dites spontanées. Ed. Pasteur Vallery-Radot. Paris: Masson, 1922.

———. *Mémoire sur les corpuscules organices qui existent dans l' atmosphére. Examen de la doctrine des générations spontanées*. Paris: Mallet-Bachelier, 1862. Reproduzido em Pasteur, *Oeuvres*, vol 2, pp. 210-294.

———. Expériences relatives aux générations dites spontanées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **51**: 348-352, 1860 (a).

———. Nouvelles expériences relatives aux générations dites spontanées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **51**: 348-352, 1860 (b).

———. Suite a une precedente communication relative aux génération dites spontanées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **51**: 675-8, 1860 (c).

———. Note en réponse à des observations Pouchet, Joly et Musset, dans la séance du 21 septembre dernier. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **57**: 724-6, 1863 (a).

———. Note sur les générations spontanées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **58**: 21-22, 1864 (a).

PUMFREY, Stephen. History of science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. *British Journal of History of Science* **24**: 61-78, 1991.

QUATREFAGES, Jean Louis Armande de. Remarques sur la valeur des faits qui sont considerés par quelques naturalistes comme étant propres à prouver l'existence de la génération spontanée des animaux. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **48**: 30-3, 1859.

ROLL-HANSEN, Nils. Experimental method and spontaneous generation: the controversy between Pasteur and Pouchet,

1859-64. *Journal of the History of Medicine and Allied Science* **34** (3): 273-292, 1979 (a).

——. Review: The spontaneous controversy from Descartes to Oparin by John Farley. *British Journal for the Philosophy of Science* **30**: 93-96, 1979 (b).

——. The death of spontaneous generation and the birth of the gene: two case studies of relativism. *Social Studies of Science* **13**: 481-519, 1983.

STRICK, James. Darwinism and the origin of life: the role of H. C. Bastian in the British spontaneous generation debates, 1868-1873. *Journal of the History of Biology* **32**: 51-92, 1999.

WEISS, Harry B. Francesco Redi, the father of experimental entomology. *The Scientific Monthly* **23**: 220-224, 1926.

# As origens da classificação de plantas de Carl von Linné no ensino de biologia

**Maria Elice Brzezinski Prestes** [*]
**Patrícia Oliveira** [#]
**Gerda Maísa Jensen** [§]

**Resumo**: Neste texto, serão apresentados os aspectos centrais do sistema de classificação, descrição e nomenclatura dos seres vivos proposto por Carl von Linné no século XVIII, particularmente no caso das plantas. Para que a sua contribuição à História da Biologia seja contextualizada, serão examinados alguns trabalhos anteriores sobre as classificações, bem como de relevância para a compreensão dos processos reprodutivos dos vegetais, como a estrutura e função das flores, órgão da planta escolhido por Linné para a definição dos critérios básicos da sua classificação. A abordagem histórica deste episódio da biologia almeja contribuir para afastar o erro comum que toma, por exemplo, Linné "o primeiro" a classificar os seres vivos ou a adotar a nomenclatura binomial. O caso Linné também ilustra que, ao contrário do que se costuma dizer, as idéias e teorias científicas não surgem inteiras, prontas, na mente do investigador, mas são o efeito de uma construção gradativa e sistemática, decorrentes de idas e vindas em seus processos de pesquisa.

**Palavras-chave**: história da botânica; sistema de classificação de plantas; Linné, Carl von; ensino de biologia.

[*] Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e Grupo de História e Teoria da Ciência da Universidade Estadual de Campinas. Rua do Matão, 277, sala 317A, Cidade Universitária, 05508-090, São Paulo, SP. E-mail: eprestes@ib.usp.br.

[#] Professora de Biologia no Ensino Médio e estudante de mestrado no Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência da PUC-SP. Rua Marques de Paranaguá 111, Consolação, 01303-050, São Paulo, SP. E-mail: paty.maschio@yahoo.com.br

[§] Professora de Biologia no Ensino Médio e estudante de mestrado no Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência da PUC-SP. Rua Marques de Paranaguá 111, Consolação, 01303-050, São Paulo, SP. E-mail: gmajen@terra.com.br

**The origins of classification of plants by Carl von Linné in the teaching of biology**

**Abstract**: This text presents the key aspects of the system of classification, description and classification of living things proposed by Carl Linné in the 18th century, particularly for plants. To contextualize his contribution to the History of Biology, some previous works on biological classification will be examined. This paper also addresses the relevance of understanding the reproductive processes of plants, and the structure and function of flowers – the organ of the plants Linné chose to define the basic criteria of classification. The historical approach of this episode of biology aims to help avoiding the common mistake of describing Linné as the "first" to classify living beings or to adopt the binomial nomenclature. The case of Linné also illustrates that, contrary to what it is usually said, the ideas and scientific theories do not emerge whole and ready in the mind of the researcher, but are the effect of a gradual and systematic construction due to comings and goings in their process of research.
**Keywords**: history of Botany; system of classification of plants; Linné, Carl von; biology teaching.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os sistemas de classificação dos seres vivos são indissociáveis do conhecimento acerca do processo evolutivo. A disciplina da Sistemática dedica-se a estimar e representar a história evolutiva, promovendo agrupamentos das espécies de acordo com o grau de parentesco. No entanto, nem sempre foi assim. Os sistemas de classificação de seres vivos são muito anteriores às teorias evolutivas do século XIX. Ao invés de serem fundamentados na dimensão temporal, eles foram construídos a partir das semelhanças e diferenças aparentes entre os organismos.

Padrões de organização da diversidade biológica fundamentados sobre a forma dos organismos remontam a Aristóteles, e mesmo antes dele. Mas foi no período renascentista, nos séculos XV e XVI, que se expandiram os estudos sobre animais e plantas e as iniciativas para classificá-los. Diversos fatores explicam essa expansão, mas entre eles têm destaque o interesse renovado em estudar diretamente a natureza e o aporte, na Europa, de espécies exóticas coletadas nas grandes navegações, tanto ao Oriente quanto ao Novo Mundo. Com a chegada do século XVIII, já era grande o acúmulo de conhecimentos derivados dos estudos de História Natural, realizados por naturalistas ocupados com o estudo de minerais, plantas e animais. Desse século, é conhecida a contribuição do sueco Carl von Linné (1707-1778) para o desenvolvimento

de um sistema de classificação dos seres vivos que atingiu uma aplicação universal e estabeleceu grande parte dos grupos de animais e plantas aceitos até hoje.

Porém, como seus antecessores e contemporâneos, Carl von Linné, ao menos na maior parte de sua vida, acreditava que o número de espécies existentes era o mesmo da época da Criação, ou seja, para ele as espécies eram fixas, imutáveis[1]. Foi a teoria evolutiva que introduziu na ciência chamada "taxonomia"[2], a dimensão temporal que explica a *origem* da diversidade dos organismos, calibrando o princípio básico da classificação em termos evolutivos. O curioso é que a configuração geral dos grupos de seres vivos da classificação lineana não sofreu alterações significativas quando da introdução do pensamento evolutivo[3].

Assim, entende-se melhor porque as contribuições de Lineu (versão aportuguesada de seu nome, mais utilizada no Brasil[4]) justifiquem o lugar de destaque que seu nome ocupa na História da Biologia. Contudo, é preciso não exceder no que de fato lhe concerne, pois ele não esteve sozinho nesse episódio. Foi precedido por diversos estudiosos de plantas, e de animais, que igual-

---

[1] Alguns estudiosos da obra de Lineu defendem que ele oscilou em sua crença na fixidez das espécies frente ao problema das variações. Em textos tardios, Lineu parece sugerir que o objeto da Criação foram as espécies-tipo em cada gênero, a partir das quais, por variação, teriam sido produzidas as espécies atuais.

[2] "Taxonomia" é a designação estabelecida pelo botânico suíço Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841).

[3] Os maiores rearranjos na formação de grupos de seres vivos ocorrem em meados do século XX, quando o entomologista alemão Willi Hennig (1913-1973), desenvolve a "sistemática filogenética", depois chamada "cladismo". As mudanças nos grupos decorre de que, nesse sistema, são consideradas apenas as semelhanças entre espécies que possuem origem comum. Assim, por exemplo, devido à procedência evolutiva, crocodilos são agrupados mais próximos a aves do que a lagartos. Infelizmente, a sistemática filogenética ainda é pouco ensinada na educação básica, na qual prevalece o sistema lineano.

[4] O nome que lhe foi dado ao nascer em Småland, no Sul da Suécia, em 1707, foi Carl Linnaeus (ou Carolus Linnaeus, na forma inteiramente latinizada que aparece em suas publicações). Em meio à sua carreira universitária, ganhou título de nobreza, mudando o nome para Carl von Linné, modo pelo qual é mais referido hoje, inclusive na Suécia.

mente se ocuparam da organização da diversidade biológica, fornecendo os elementos que acabaram incorporados em seu empreendimento taxonômico.

Este capítulo oferece uma apresentação detalhada dos estudos de Lineu e de como foi sendo construída, através dos anos e por meio de publicações distintas, a sua proposta de classificação de plantas. Além disso, serão indicados alguns dos trabalhos que precederam os de Lineu e lhe forneceram, direta ou indiretamente, substratos teóricos e metodológicos. Para permanecer dentro de limites razoáveis, serão examinadas apenas algumas obras relevantes que propiciaram uma melhor compreensão dos processos reprodutivos dos vegetais, especialmente na estrutura e função das flores, órgão da planta escolhido por Lineu para a definição dos critérios básicos da classificação.

Percorrendo o caminho que levou Lineu a definir os critérios sobre os quais fundamentaria a classificação, estaremos fornecendo subsídios aos alunos do Ensino Médio para compreenderem e operarem de forma mais efetiva os sistemas de classificação dos seres vivos que estudam em suas aulas de biologia.

Contextualizando este episódio da História da Biologia, pretendemos rever um equívoco metodológico recorrente em abordagens históricas, ao atribuir origens pontuais e pessoais a disciplinas, áreas de pesquisa, teorias ou métodos. Não raro, debita-se a um investigador particular o "nascimento", a "paternidade" (e quase nunca a "maternidade") de uma teoria ou disciplina científica. Formulações como, "Lineu, o fundador da taxonomia", "Darwin, o pai da teoria evolutiva", "Claude Bernard, o fundador do método experimental aplicado aos seres vivos", retratam inverdades facilmente contestadas pela Historia da Ciência e revelam uma percepção distorcida e restrita da Natureza da Ciência.

Esta abordagem histórica nos afasta do erro comum que toma, por exemplo, Lineu "o primeiro" a classificar os seres vivos ou a adotar a nomenclatura binomial. A análise de obras relevantes, produzidas na mesma época e anteriormente ao autor considerado, possibilita conhecermos as fontes de suas idéias, de seus pressupostos, de seus métodos e nos coloca em contato com conhecimentos que eram partilhados pelos investigadores da natureza de sua época. Em vez de "gênio" isolado, ou "além de seu próprio tempo", a análise histórica contextualizada, desprendida o mais

possível dos conceitos atuais, buscando entendê-los conforme eram tomados na época estudada, faz emergir um personagem devedor das idéias de seus antecessores, em diálogo com seus contemporâneos.

O caso Lineu também ilustra que, ao contrário do que se costuma dizer, as idéias e teorias científicas não surgem inteiras, prontas, na mente do investigador, mas são o efeito de uma construção gradativa e sistemática, decorrentes de idas e vindas em seus processos de pesquisa.

Nosso objetivo será, então, simultaneamente, oferecer uma concepção mais realista do fazer científico, tomado como empreendimento coletivo, gradativo e sistemático de construção do conhecimento, que se deixa influenciar, e influencia, o contexto do momento no qual se insere.

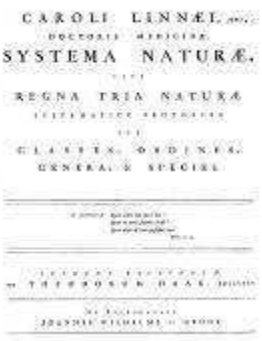
## 2 A CLASSIFICAÇÃO DE PLANTAS DE LINEU: VISÃO GERAL

A diversidade biológica impõe algum tipo de organização para que se possa conhecer e fazer uso das diferentes espécies de animais e vegetais, bem como de microrganismos[5]. É uma necessidade sentida em diferentes culturas e épocas a de agrupar diferentes organismos e referir-se a eles com nomes como "comestíveis" ou "venenosos", "animais" ou "vegetais", "aves" ou "peixes" etc.

No século XVIII, as pessoas que se ocupavam com o estudo dos seres vivos eram chamados "naturalistas". Elas exerciam atividades na chamada "História Natural", ramo do conhecimento que se ocupava com vegetais, animais e minerais (no século XIX é que passou a ser usado o termo "Biologia" e os estudos dos minerais passaram a ser realizados pela "Geologia"). Naquela época, o crescente número de espécies conhecidas pelos europeus levou os naturalistas a buscarem uma organização nova dos três reinos da

[5] Hoje nos referimos à variedade dos seres vivos usando o termo "biodiversidade" cunhado em 1985 como uma contração de "diversidade biológica", e que se tornou consagrado especialmente após a publicação do livro *BioDiversidade,* de E. O. Wilson, em 1988. O estudo da diversidade dos seres vivos, contudo, remonta, como visto aqui, à Antigüidade grega, notadamente a Aristóteles.

(a)




(b)

**Figura 1**. (a) Carl von Linné, em 1775, aos 68 anos de idade. Fonte: Bolton, 1889, p. 49. (b) Folha de rosto da primeira edição, de 1735, do *Systema naturae*, obra fundamental sobre classificação, de Linné. Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linné-Systema_Naturae_1735.jpg

natureza, como foi o caso do sueco Carl von Linné (1707-1778). Na Figura 1a, vemos o seu retrato aos 68 anos de idade. A magnitude do seu projeto pode ser percebida pela expressão "Deus criou, Lineu organizou", como ele próprio resumiu, sem muita modéstia, o trabalho de sua vida.

Lineu pretendia elaborar um sistema de classificação que fosse realmente novo. Pretendia organizar os seres de um modo que ao mesmo tempo facilitasse a descrição e unificasse os nomes muito diversamente atribuídos na época aos diferentes tipos e grupos conhecidos de animais, plantas e minerais. Assim, ele não foi o primeiro a classificar. Por acreditar que as classificações disponíveis na época eram difíceis de serem usadas e muito distintas entre si, queria propor um sistema padrão, que atingisse um uso universal.

O seu empreendimento foi maior do que a classificação propriamente dita. A contribuição de Lineu é melhor dimensionada se entendermos que ele reuniu, ao *sistema de classificação*, uma *sistemática de descrição* e uma normatização para a *nomeação* das espécies e gêneros. Com suas definições e terminologia próprias, vertidas numa

descrição telegráfica, o conjunto permitia um sub-produto útil, o de permitir a rápida *identificação* de espécies.

Vamos examinar mais detalhadamente o que significam cada um dos três componentes de sua proposta, *classificar*, *descrever* e *nomear*. Também vamos ver que elas não surgiram na mente de Lineu pela primeira vez, mas foram por ele amadurecidas a partir das fontes disponíveis sobre o tema em sua época. Veremos ainda que elas não foram propostas todas juntas, de uma só vez. A proposta de classificação, descrição e nomeação dos seres vivos de Lineu foi produto de um trabalho sistemático, construído gradualmente ao longo dos anos.

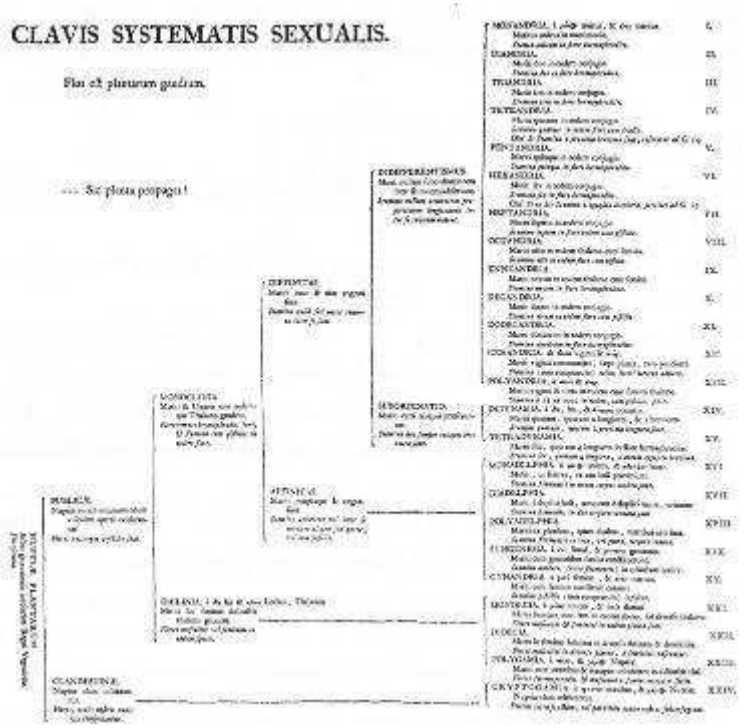



**Figura 2**. Visão geral da Chave do Sistema Sexual com 24 classes de plantas, publicada na primeira edição do *Sistema Natural*, 1735. Fonte: Hoquet, 2005, p. 261.

Lineu empenhou-se em conhecer *todas* as espécies do planeta. Para atingir esse objetivo, enviou naturalistas colaboradores para a Islândia e a África do Sul, para a América e o Leste Asiático. Assim, tendo deixado a Suécia apenas uma vez, no início de sua carreira, Lineu pôde reunir uma vasta coleção de espécies de diversas partes do mundo. Do vasto conhecimento daí derivado, especialmente, mas não apenas, de plantas, Lineu foi aperfeiçoando o seu sistema e desenvolvendo cada um daqueles três componentes principais.

Para conhecermos como ocorreram essas etapas sucessivas, tomaremos por fio condutor as publicações de seus livros mais relevantes conforme foram sendo por ele publicados.

## 2.1 Os princípios da classificação: *Sistema Natural* (1735)

A primeira publicação de Lineu é também aquela que lhe deu mais fama e é mais conhecida até hoje. É um livro pequenino, quase um folheto, com apenas 11 páginas, o *Sistema Natural* ou *Systema naturae*, de 1735, em latim, língua adotada em suas publicações (Figura 1b). O livro apresenta o sistema novo de classificação de plantas, animais e minerais que Lineu havia concebido quatro anos antes.

O que mais impactou desse livro entre os contemporâneos, foi o novo sistema de classificação de plantas. Nele, Lineu incorporou uma idéia que já fora explorada por autores da época, a reprodução sexual das plantas, e elegeu a flor como órgão para fornecer os critérios de classificação. Assim, as classes foram definidas com base no número, proporção e posição dos estames em relação aos pistilos; as subdivisões das classes foram determinadas pelo número de estigmas e formato do pistilo. Com base nisso, estabeleceu 24 classes de plantas (Figuras 2 e 3).

Na medida em que reunia novas plantas, Lineu as incorporava ao sistema, o que fomentou a publicação regular de edições ampliadas progressivamente. Lineu também revisava e alterava a composição dos grupos ao longo das sucessivas edições[6]. A 12ª edição

[6] Um exemplo famoso entre os animais é o da 10ª edição em que as baleias foram removidas do grupo dos peixes e introduzidas entre os mamíferos.

do *Systema naturae*, publicada entre 1766 e 1768, foi constituída de 3 grandes volumes. A 13ª edição, de 1770, possuía 3 mil páginas. Além disso, a obra foi sendo traduzida e publicada em diferentes países (Figura 4).

A diferença da proposta de Lineu em relação às classificações de plantas então disponíveis era tão grande que houve considerável resistência inicial em aceitá-la. Também causou reações negativas entre os naturalistas a comparação da reprodução sexual das plantas com a reprodução humana. A título de exemplo, ao contar o número de estames e pistilos numa flor, Lineu assim se expressou: "São nove homens em um mesmo quarto nupcial com uma

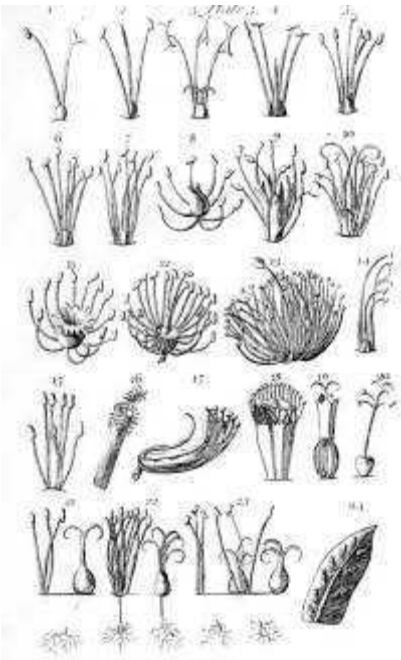


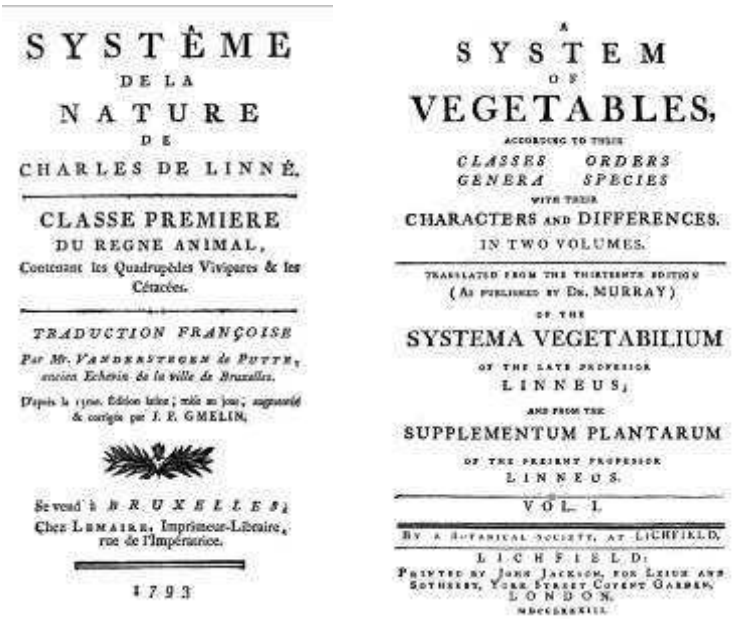
PLATE III.

CLASSES

FIG. CLASS.
1 Monandria (p. 78, 90)
2 Diandria (p. 78, 91)
3 Triandria (p. 78, 92)
4 Tetrandria (p. 78, 94)
5 Pentandria (p. 78, 96)
6 Hexandria (p. 78, 100)
7 Heptandria (p. 78, 102)
8 Octandria (p. 78, 103)
9 Enneandria (p. 78, 104)
10 Decandria (p. 78, 105)
11 Dodecandria (p. 79, 107)
12 Icosandria (p. 80, 108)
13 Polyandria (p. 80, 110)
14 Didynamia (p. 80, 112)
15 Tetradynamia (p. 81, 117)
16 Monadelphia (p. 81, 120)
17 Diadelphia (p. 82, 123)
18 Polyadelphia (p. 82, 130)
19 Syngenesia (p. 82, 132)
20 Gynandria (p. 83, 138)
21 Monoecia (p. 83, 141)
22 Dioecia (p. 83, 144)
23 Polygamia (p. 84, 147)
24 Cryptogamia (p. 84, 150)

(a) (b)

**Figura 3**. (a) Número e posição dos estames nas 24 classes de plantas no *Sistema natural* de Lineu de 1735. (b) Lista dos nomes das 24 classes de plantas do sistema de Lineu no *Sistema natural* de 1735. Fonte: Lee, 1788, pp. 392-393.



SYSTÈME
DE LA
NATURE
DE
CHARLES DE LINNÉ.

CLASSE PREMIERE
DU REGNE ANIMAL,
Contenant les Quadrupèdes Vivipares & les Cétacées.

TRADUCTION FRANÇOISE
Par Mr. VANDERSTEGEN de PUTTE,
ancien Echevin de la ville de Bruxelles.

D'après la 13me. Edition latine; mise au jour, augmentée & corrigée par J. F. GMELIN.

Se vend à BRUXELLES,
Chez LEMAIRE, Imprimeur-Libraire,
rue de l'Impératrice.

1793

A
SYSTEM
OF
VEGETABLES,
ACCORDING TO THEIR
CLASSES ORDERS
GENERA SPECIES
WITH THEIR
CHARACTERS AND DIFFERENCES.
IN TWO VOLUMES.

TRANSLATED FROM THE THIRTEENTH EDITION
(As published by Dr. MURRAY)
OF THE
SYSTEMA VEGETABILIUM
OF THE LATE PROFESSOR
LINNEUS,
AND FROM THE
SUPPLEMENTUM PLANTARUM
OF THE PRESENT PROFESSOR
LINNEUS.

VOL. I.

BY A BOTANICAL SOCIETY, AT LICHFIELD.

LICHFIELD:
PRINTED BY JOHN JACKSON, FOR LEIGH AND SOTHEBY, YORK STREET COVENT GARDEN,
LONDON.
MDCCLXXXIII.

(a) (b)

**Figura 4**. (a) Edição francesa do *Sistema natural*, de 1793, página de rosto do volume sobre quadrúpedes vivíparos e cetáceos. (b) Edição inglesa, de 1783, página de rosto do primeiro volume sobre plantas. Fonte: books.google.com

só mulher". O uso de expressões da sexualidade humana era recorrente: "Que as anteras sejam as *genitálias masculinas*, e seu pólen a verdadeira progenitura"; "Que os estigmas sempre ligados ao germe sejam as *genitálias femininas*".

A rejeição foi ampliada, em certa medida, devido à sua repercussão entre o público culto da época, especialmente mulheres, que se dedicava a reunir espécimes em gabinetes de história natural, fazendo uso das classificações para organizar suas coleções. No século XVIII, as classes médias da pequena nobreza e da nova aristocracia interessaram-se muito pela horticultura e jardinagem, tornando a Botânica uma ciência de prestígio. Assim o impacto da reprodução sexual das plantas extravasou os círculos acadêmicos e contra ela foram publicadas diversas objeções morais. Contudo, a simplicidade e a praticidade do sistema certamente contribuíram

para a sua gradativa aceitação. Em algumas décadas, a proposta tornou-se amplamente usado para classificar plantas e, no final do século XVIII, o sistema lineano passava a ser aplicado também para classificar os animais.

## 2.2 A existência de diversos sistemas de classificação na época e a articulação entre a sistemática e a nomenclatura: *Fundamentos da Botânica* (1736) e *Filosofia Botânica* (1751)

Já vimos que a justa medida da magnitude do trabalho de Lineu está exatamente na integração de iniciativas em um sistema tripartite (classificação, descrição, nomeação) todo coerente. Ele próprio tinha consciência desse alcance, desde o início, ao escrever: "o fio de Ariadne da Botânica é o Sistema, sem o qual ela é um caos". Foi assim que, um ano depois publicou novo pequeno livro, *Fundamentos da Botânica* (*Fundamenta Botanica*, em latim). Escrito sob a forma de aforismos (sentenças breves), a obra discute os principais problemas da ciência botânica e estabelece seu programa teórico vertido em um guia de ação, propondo como ler os textos de botânica, como classificar, ver, descrever, nomear as plantas.

Um dos temas relevantes desse livro é o levantamento que Lineu promove dos sistemas de classificação existentes e seus respectivos critérios de formação dos grupos hierárquicos, identificados, no aforismo 27, em quatro grupos:

> 27. Os Sistemáticos Ortodoxos Universais organizaram todas as classes de vegetais por um método autêntico, tal como os *Frutistas*, os *Corolistas*, os *Calicistas*, os *Sexualistas*.

Entre os frutistas estão, além de outros, o renascentista italiano Andreas Cesalpino (1519-1603), que Lineu diz ter sido o "primeiro sistemático verdadeiro". Em seu *Livro de plantas XVI* (*De plantis libri XVI*), de 1583, Cesalpino orientou a formação dos grupos maiores de plantas pela posição relativa do fruto e das peças florais, bem como pelo número de sementes no interior do fruto. São mencionados também o naturalista inglês John Ray (1627-1705) e o médico holandês Hermann Boerhaave (1668-1738).

Entre os que classificavam com base nos caracteres da flor, especialmente da corola, Lineu menciona o médico e botânico ale-

mão Augustus Quirinus Rivinus (1652-1723) e o naturalista francês Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708).

Em 1694, Tournefort publicou *Elementos de botânica* (*Éléments de botaniques*), publicado em latim seis anos mais tarde, com um sistema formado por 700 gêneros de plantas cujos nomes foram amplamente adotados pelos naturalistas da época, inclusive Lineu, de modo que boa parte dos nomes de gênero adotados até hoje, remonta a Tournefort.

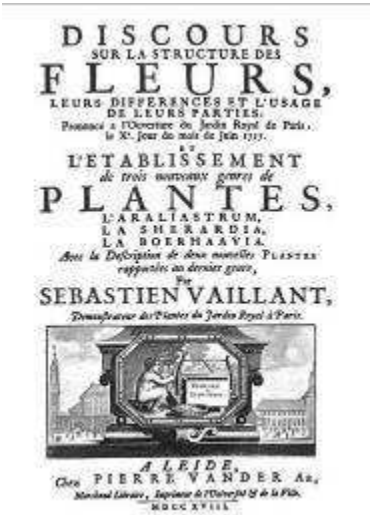
Entre os que adotavam o cálice da flor como fundamento de seus agrupamentos, Lineu inclui a sua própria iniciativa de inventariar as diferentes formas de cálices, além do naturalista francês Pierre Magnol (1632-1715) que estabeleceu o grupo taxonômico das famílias de plantas.

Finalmente, ao apresentar os sexualistas, Lineu coloca-se primeiramente como único representante. Não deixa de indicar, contudo, pouco adiante, aqueles que, antes dele, também se basearam na flor para organizar a diversidade de plantas. Entre outros, ele menciona o médico e botânico francês Sébastien Vaillant (1669-1722), retratado na Figura 5a, que publicou em 1718 um livro intitulado *Discurso sobre a estrutura floral* (*Sermo de structura florum*), cuja página de rosto pode ser vista na Figura 5b. Nessa obra, o autor descreve a função sexual das flores, comparando os estames com os órgãos masculinos dos animais. Vaillant também propõe que a terminologia usada para as partes florais refletisse suas respectivas funções, introduzindo na Botânica os termos "estames", "filamento", "ovário" e "óvulo", no sentido utilizado até os dias de hoje.

Com essa lista de autores e obras, podemos perceber que não era pequena a lista de propostas existentes na época para classificar os seres vivos. Mais importante ainda, que havia uma proposta, a de Tournefort, que era usada majoritariamente pelos naturalistas. Desse modo, está claro que são equivocadas as abordagens históricas que insistem em afirmar que Lineu é o fundador da classificação dos seres vivos.

Além disso, também podemos conhecer pelo texto do próprio Lineu, que a reprodução sexual e o papel da flor no processo não foram idéias originais suas. Ele as desenvolveu a partir de noções que já haviam sido propostas por outros autores antes dele.

(a)




(b)

**Figura 5**. (a) O médico e botânico francês Sébastien Vaillant, (1669-1722). Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Sebastien_Vaillant. (b) Página de rosto do *Discurso sobre a estrutura floral* de Vaillant. Fonte: Magnin-Gonze, 2004, p. 113.

Um segundo tópico importante que já está no *Fundamentos da Botânica* e na sua versão ampliada, *Filosofia Botânica*, é o princípio de que uma ciência vegetal deve erguer-se sobre a dupla base da *sistemática* e da *nomenclatura*, sendo a primeira, o fundamento da segunda.

A sistemática impunha a ordenação das plantas em grupos hierárquicos, ou seja, grupos maiores contendo grupos menores, como aparece no aforismo abaixo:

> 152. A Disposição ensina as divisões ou as conjunções de plantas; ela é *primária*, que institui os gêneros, as ordens, as classes; ou *secundária*, que institui as espécies e as variações.

Essas são as cinco divisões, ou como dizemos hoje, grupos taxonômicos propostos por Lineu em 1736. Isso ampliou-se ao longo do tempo, de modo que as classificações atuais possuem um número bem maior desses grupos ou "taxa" (no singular, "taxon"): reino, filo ou divisão, classe, ordem, família, gênero e espé-

cie, que apresentam ainda outras categorias intermediárias, acima (como super-família) e abaixo (como sub-família) de cada taxon.

Por sua vez, a nomenclatura precisava acompanhar a classificação para padronizar, ou seja, fixar os termos com os quais nomear as diferentes partes das plantas, acabando com as tantas divergências entre os autores do período. Lineu estabelece no *Fundamentos de Botânica* uma série de regras a serem seguidas para a formulação do nome do gênero (uma só palavra em vez de duas, como em Tournefort), assim como para classe e ordem: que esses nomes sejam formados por um só e mesmo termo, que não seja alterado por outro, que possua uma raiz grega ou latina (e aqui Lineu filia essa idéia aos "Pais da Botânica", gregos e latinos), que não se use diminutivos ou designações poéticas, que não possua "pronunciação difícil" ou "nauseabunda" etc.

Na nomenclatura notamos que Lineu elaborou uma proposta significativamente nova, mas que, como é de praxe na prática científica, construída a partir da contribuição de diversos antecessores.

### 2.3 As diagnoses descritivas dos gêneros e de todos os vegetais: *Gêneros de Plantas* (1737) e *Classes de plantas* (1738)

Em *Gêneros de plantas* (*Genera Plantarum*), Lineu reuniu todos os seus estudos de campo, além das informações recolhidas no exame de trabalhos precedentes sobre determinação e definição de grupos de plantas que pudessem recair nas categorias de gênero ou de espécie. Empregou descrições padronizadas em definições claras e extremamente concisas, as diagnoses, de 935 gêneros. O livro tornou-se guia universal, não sem antes ser criticado por Lineu ter sido pouco gentil ao trocar os nomes criados por outros botânicos.

Em *Classes de plantas* (*Classes plantarum*), Lineu retoma a compilação dos sistemas de classificação propostos desde Cesalpino. Aqui aparece o papel principal que ele atribuía à classificação: dispor toda a informação disponível de maneira prática e fácil de usar. Nessa obra, Lineu também explicita o que entende por classificação natural (agrupar a partir de vários caracteres aparentes) e artificial (agrupar com base em um só caráter, escolhido pelo autor do sistema).

## 2.4 A adoção e oficialização da nomenclatura binominal: *Espécies de plantas* (1753)

Vimos que Lineu estabeleceu regras precisas para nomear o gênero no *Fundamentos de Botânica*, 17 anos antes deste *Espécies de plantas* (*Species plantarum*), de 1753. A primeira espécie que fosse conhecida de um gênero, ou a mais conhecida, ganhava o nome do gênero e pronto. As outras espécies que pudessem ser filiadas a esse mesmo gênero eram designadas pelo mesmo nome (do gênero), seguido de *um adjetivo* ou de *uma frase descritiva* que as distinguissem. Quando era utilizada uma frase descritiva, produziam-se nomes como, por exemplo: *Rosa sylvestris alba cum rubore folio glabro* (Rosa silvestre branca com folhas avermelhadas sem pelos).

Como se pode perceber, essa nomenclatura pré-lineana, dita "polinominal", não era muito prática. Mantinha nomes muito compridos, difíceis de memorizar e referir, além de exigir alterações quando novas espécies eram descobertas. Lineu propôs então que o segundo termo, referente à espécie, ficasse sempre restrito a uma só palavra. Ela deveria ser escolhida de um "nome trivial", cuja função seria distinguir a espécie e não mais descrevê-la, podendo, portanto, ser um adjetivo ou qualquer outra coisa. Voltando ao exemplo da rosa, Lineu distinguiu algumas de suas espécies com os seguintes binômios: *Rosa canina*, *Rosa cinnamomea*, *Rosa eglanteria*, entre outras, conforme aparece no *Espécies de plantas*. Assim, embora Lineu tenha se ocupado com regras de nomenclatura desde 1736, é neste livro de 1753 que a nomenclatura binomial foi padronizada e oficializada pelo autor. Em 1758, na 10ª edição do *Sistema natural*, estendeu essa nomenclatura aos animais.

Com o terceiro componente estabelecido, a nomenclatura binomial, Lineu alcançou a forma mais acabada de sua proposta. Evidencia-se como o autor desenvolveu suas idéias gradativamente e como apenas por meio de estudos sistemáticos e aquisição de conhecimentos sobre um número crescente de espécimes é que o seu projeto de um sistema todo coerente se realizou.

## 3 ANTECEDENTES DAS CLASSIFICAÇÕES

No Ocidente, classificações implícitas de seres vivos aparecem em obras de Homero, Hipócrates e Heródoto. Porém, foi Aristó-

teles (384-322 a.C.) que produziu o mais extenso material sobre o assunto[7]. Ele estabeleceu alguns princípios metodológicos para o estudo dos seres vivos que são particularmente relevantes para as classificações. Ele propôs, por exemplo, que se deve iniciar pelo estudo dos gêneros de organismos e depois seguir para as espécies individuais[8]. Esse procedimento evitaria repetições ao se descrever as partes, isto é, os aspectos morfológicos externos e internos dos organismos. A observação de animais (ou plantas) diferentes mas pertencentes a um mesmo gênero devia ser guiada pelas características específicas de seus aspectos corporais, como, por exemplo, tamanho, consistência etc. Os atributos distintivos mais determinantes e imutáveis, ele chamava "essenciais"[9]. Por outro lado, aspectos suscetíveis de alteração, como, por exemplo, a cor da pele do homem, que ele chamava "acidentais", não deveriam servir de critério aos agrupamentos.

O seu discípulo Teofrasto (371-287 a.C.), desenvolveu algumas dessas idéias na Botânica e estabeleceu um vocabulário técnico próprio à descrição das diferentes partes das plantas (Figura 6a). Sua terminologia incluiu o que considerava as partes persistentes principais, como raiz, caule, galhos e ramos, distintas das partes anuais e efêmeras, como folhas, flores, pedúnculos e frutos (Figura 6b). Ele classificou a quase totalidade dos vegetais então conhecidos (cerca de 500 espécies) em quatro grandes grupos, estabelecidos com base no crescimento: árvores, arbustos, sub-arbustos e ervas. Além do crescimento, ele formou grupos com base em aspectos extraídos da organização, dos caracteres morfológicos e das propriedades particulares das plantas. Assim, por exemplo, ele

---

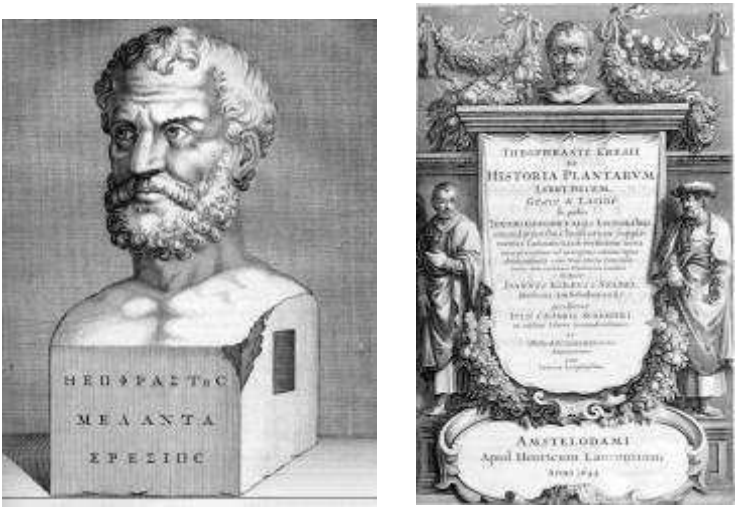
[7] Aristóteles distanciou-se das concepções populares de sua época, que tomavam os animais como veículos para a expressão de categorias sociais, morais, religiosas ou cosmológicas. Em seus textos, o filósofo grego excluiu as menções corriqueiras que se faziam ao valor simbólico do animal na mitologia ou na poesia, ao seu uso no culto aos deuses.

[8] Aristóteles tomava o termo "gênero" na acepção comum, conforme enunciado pelas pessoas em termos como "peixes" e "pássaros".

[9] Em Aristóteles, assim como na filosofia clássica grega em geral, não há a noção de transformação das espécies ao longo do tempo: as características essenciais eram fixas, imutáveis.

estabeleceu a diferença entre o que hoje chamamos monocotiledôneas e dicotiledôneas, reconheceu a distinção entre as peças florais, pétalas e sépalas, notou que as pétalas ora eram unidas, ora separadas, observou os diferentes tipos de inserção da corola, sua simetria radial ou bilateral, a forma das folhas e seu modo de inserção no tronco, a perenidade ou não das plantas, além de sugerir uma divisão entre plantas com flores e sem flores.

Uma outra obra da Antigüidade que exerceu longa ascendência sobre os estudos botânicos posteriores foi *Materia medica*, escrita pelo médico grego Dioscórides (cerca de 60 d. C.). O interesse principal de Disoscórides era o uso medicinal das plantas. Além disso, ele inventariou ainda as que proviam óleos, resinas, especiarias e frutos. Assim, no Materia medica, organizou cerca de 500 a 600 espécies de plantas com base na utilidade. As plantas aparecem agrupadas entre as que possuem raízes medicinais, as ervas usadas como condimentos, as plantas que fornecem perfumes etc. Além da utilidade, em alguns casos, reuniu plantas que se assemelham pela aparência externa.




(a) (b)

**Figura 6**. (a) Busto de Teofrasto (371-287 a.C.). (b) Página de rosto de uma edição latina do *De historia plantarum*, de 1644. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Theophrastus

Dioscórides criticou as listas de plantas em ordem alfabética adotadas por alguns autores do período, indicando a importância que atribuía a agrupamentos que não separassem plantas que possuem propriedades comuns.

Os trabalhos de Aristóteles, Teofrasto e Dioscórides tiveram relevância nos estudos dos seres vivos por mais de mil e quinhentos anos e foram particularmente retomados no Renascimento. Até então, o número de plantas conhecidas e o conhecimento acerca delas não havia sofrido grandes alterações. Embora no século XIII tenham sido publicados herbários que já trazem os efeitos de uma certa retomada da observação de plantas na própria natureza, o número de vegetais conhecidos não mudou significativamente, senão nos séculos XV e XVI. Nesse momento, conhecer os produtos da natureza implicava em recenseá-los em seus ambientes naturais e dispô-los segundo uma ordem apropriada. Como o número de espécies conhecidas aumentava enormemente, um inventário exaustivo dos produtos da natureza mostrava-se como uma tarefa monumental, que exigiria uma fundamentação lógica e uma escolha adequada de critérios. Vamos nos deter a seguir em três casos que ilustram essa busca, presente nas obras do italiano Andrea Cesalpino (1519-1603), do inglês John Ray (1627-1705) e do francês Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708).

Em 1583, Andrea Cesalpino (Figura 7a) publicou um grande tratado de teoria Botânica, o *Livro de plantas XVI* (*De plantis libri XVI* – Figura 7b). Cesalpino lidava então com 1.500 espécies de plantas. Para dar conta desse número, elaborou um modelo de classificação baseado em aspectos morfológicos, inspirado, portanto, em Aristóteles e Teofrasto. Distanciou-se, assim, da enumeração artificial das plantas, seja em ordem alfabética, ainda utilizada por alguns autores contemporâneos, seja a baseada em aspectos farmacêuticos ou medicinais, segundo a linha de Dioscórides. Cesalpino descartou ainda os caracteres associados à outras utilidades das plantas para o homem ou que dele dependessem, como gosto e perfume, além de aspectos como local onde vivem e tamanho variado em função do sol, do clima e das estações.

Cesalpino era de opinião de que um modelo de classificação natural, baseado na aparência das plantas, era o único capaz de classificar uma grande quantidade de espécies. Um aspecto importante do seu trabalho é o de que ele relacionou a *classificação* com o

método de *descrição*, tema que, como vimos, foi desenvolvido mais tarde na proposta de Lineu. Cesalpino argumentou que uma classificação baseada em afinidades naturais das plantas promovia o benefício extra de tornar as descrições mais econômicas, uma vez que os caracteres definidos em cada grupo não precisariam ser repetidos em cada divisão inferior.

A partir de numerosas observações comparadas de diferentes tipos de plantas, ele concluiu que todos os órgãos e todas as partes das plantas poderiam ser utilizadas para montar os grupos. Mas usou as características das folhas, caule e raiz apenas para a formação de grupos inferiores, ao passo que, para formar os grupos maiores, guiou-se pelos frutos e demais partes envolvidas na frutificação. Por essa razão, pode-se dizer que a classificação de Cesalpino foi baseada *fundamentalmente* no critério *frutificação*. Esse aspecto foi, contudo, criticado por alguns naturalistas que defendiam que uma classificação deveria ser *natural*, isto é, baseada em muitos e diversos caracteres retirados de diversas partes da planta (Raven, 1950, p. 186).

(a)

DE PLANTIS
LIBRI XVI.
ANDREAE CAESALPINI
ARETINI,
Medici clarissimi, doctissimiq; atque
Philosophi celeberrimi, ac
subtilissimi.
AD SERENISSIMVM FRANCISCVM,
Medicum, Magnum, Aetruriæ Ducem.
FLORENTIAE,
Apud Georgium Marescottum.
MDLXXXIII.

(b)

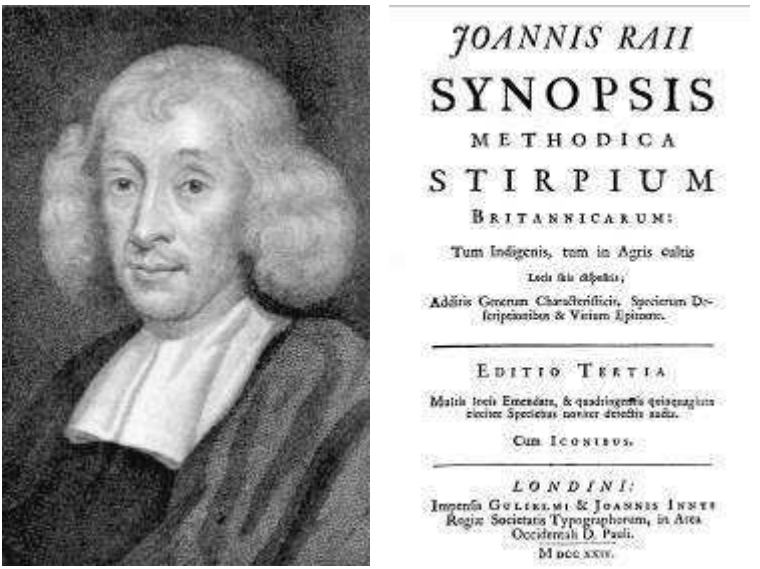
**Figura 7**. (a) O botânico italiano Andrea Cesalpino (1519-1603). Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Andrea_Cesalpino. (b) Página de rosto de *O livro das plantas XVI*, de 1583. Fonte: Magnin-Gonze, 2004, p. 75.

Notando a posição relativa do fruto e das peças florais e do número de sementes no interior do fruto, Cesalpino dividiu as plantas entre as que possuem sementes e as que não as possuem. Separou árvores e arbustros dos sub-arbustos e ervas (ver Tabela 1). Em seguida, estabeleceu entre os sub-arbustos e ervas, por exemplo, cinco classes com base no número de sementes e de compartimentos de sementes (solitária, dupla, tripla, quádrupla e múltipla).

No século seguinte, um outro naturalista destacou-se pelo estudo de plantas, o inglês John Ray, retratado na Figura 8a. Como resultado de seus estudos de campo, publicou um livro sobre a flora de Cambridge, em 1660, e, dez anos depois, reunindo plantas coletadas em suas viagens pelo país e cultivadas em seu jardim experimental de Cambridge, iniciou a publicação do *Catálogo de plantas da Inglaterra e ilhas adjacentes* (*Catalogus plantarum Angliae et insularum adjacentium*).

**Tabela 1**. Sistema de Cesalpino contendo as classes de plantas estabelecidas conforme caracteres dos frutos e sementes. Fonte: Magnin-Gonze, 2004, p. 77.

| | | Classe |
|---|---|---|
| Árvores e arbustos em que o embrião sai | do topo da semente, ..... | 1 |
| | da base da semente, ..... | 2 |
| Ervas e sub-arbustos | com sementes solitárias, ..... | 3 |
| | com fruto carnoso ou em baga, .... | 4 |
| | com fruto seco ou em cápsula, ..... | 5 |
| | com sementes geminadas, ..... | 6 |
| | com frutos de dois lojas, ..... | 7 |
| | com frutos de três fibrosas ..... | 8 |
| | lójas e raízes bulbosas ..... | 9 |
| | com quatro sementes, ..... | 10 |
| | com diversas sementes em uma flor comum (inflorescência), mas solitárias em cada flor, ..... | 11 |
| | *idem* ..... | 13 |
| | com fruto multicapsular ou multilocular, ..... | 14 |
| | com flor e fruto inexistentes ou não aparentes, ..... | 15 |




(a) (b)

**Figura 8.** (a) O botânico inglês John Ray (1627-1705). (b) Folha de rosto de uma edição resumida da obra de Ray sobre a flora inglesa. Fontes: http://en.wikipedia.org/wiki/File:John_Ray.jpg; books.google.com

Esses livros de John Ray são marcos de referência para trabalhos posteriores voltados ao recenseamento de plantas de uma região ou país, e que será seguido por diversas outras floras locais publicadas nos séculos XVII e XVIII, como a de Lineu sobre a flora da Lapônia. Ray também viajou estudando plantas de diversas regiões da Europa, além de receber exemplares dos naturalistas viajantes pela América, África, Índias Orientais, China e Japão. Reunindo todas essas informações, pôde publicar uma flora mundial pioneira, sua *Historia plantarum generallis* (*História geral das plantas*), em 3 volumes, entre 1686 e 1704.

Além dos inventários de plantas, Ray propôs um sistema natural de classificação, fazendo uso de um grande número de caracteres para descrever as plantas. Além disso, na flora de Cambridge, introduziu um método de *descrever* as plantas de forma ampla, levando em conta as características morfológicas, o lugar onde vivem, a época de floração, o ciclo de vida anual ou perene e eventuais propriedades medicinais. Seguindo Aristóteles e Teofrasto,

Ray considerava que a descrição de uma planta não poderia ser guiada por características acidentais, como variações de tamanho, cor e número de folhas, cor das flores, sabor e forma do fruto, ocasionadas pela diversidade de climas, temperatura do ar, nutrição e modo de vida.

Ao propor seu sistema de classificação, preocupou-se em explicitar a necessidade imperiosa de reunir as plantas em grupos, como se lê no trecho a seguir:

> O número e a variedade de plantas inevitavelmente produzem uma sensação de confusão na mente do estudante: mas nada ajuda mais a clarear o entendimento, inspirar reconhecimento e fortalecer a memória, do que um bem organizado arranjo em classes, primárias e subordinadas. Um Método pareceu-me útil aos botânicos, especialmente aos iniciantes. (John Ray, *Methodus Plantarum nova*, 1682, Prefácio, *apud* Raven, 1950, p. 193)

Inspirado em Teofrasto, Ray fortaleceu a separação entre as duas grandes divisões naturais das plantas com sementes, monocotiledôneas e dicotiledôneas[10]:

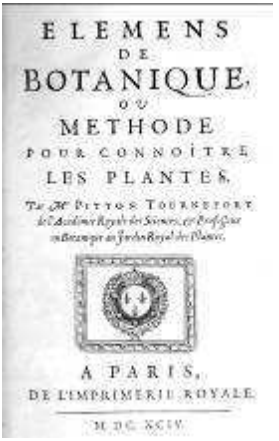
> Das sementes pode derivar uma distinção geral das plantas, uma distinção que, segundo creio, é a primeira e de longe a melhor de todas – daquelas cuja semente forma duas folhas ou [uma planta] bilobada e daquelas que são análogas ao adulto. (John Ray, *Methodus Plantarum nova*, 1682, *apud* Raven, 1950, p. 195)

O francês Joseph Pitton de Tournefort (Figura 9a) viajou estudando as floras de diversas regiões da França, além de outros países europeus (Espanha, Portugal, Holanda, Inglaterra e Grécia). Em 1694, ele publicou *Éléments de botaniques*, traduzido ao latim seis anos mais tarde, com uma classificação baseada nos caracteres da flor, especialmente da corola (Figura 9b). Nesse sistema, as plantas estão reunidas em grupos hierarquizados, uns dentro dos outros.

---

[10] Além disso, Ray estabeleceu também a distinção entre angiospermas (plantas com sementes enclausuradas) e gymnospermas (plantas com sementes nuas) e notou a separação das plantas entre as que produzem e as que não produzem flores.

(a)


ELEMENS
DE
BOTANIQUE,
OV
METHODE
POVR CONNOÎTRE
LES PLANTES.
Par Mr PITTON TOURNEFORT
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DC. XCIV.

(b)

**Figura 9**. (a) Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708). (b) Página de rosto da obra *Elementos de botânica*, de Tournefort, edição de 1694. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Pitton_de_Tournefort; http://moliere.grenoble.fr/modules/edito/content.php?id=18

Nessa obra aparece o conceito de *gênero* e uma regra simples para nomear gêneros e espécies, como lemos no trecho a seguir:

> Uma vez que as características do gênero – *essentia* – foram formuladas, a espécie encontra o lugar que lhe convém no interior do gênero por uma simples palavra que indica claramente sua diferença – *differentia* – com as outras espécies do gênero (Tournefort *apud* Magnin-Gonze, 2004, p. 117).

Assim, em Tournefort, os nomes das espécies de um mesmo gênero começam todos por uma mesma palavra (nome do gênero) e diferenciam-se entre si por outras palavras que são colocadas a seguir. O naturalista francês formou cerca de 700 gêneros com base em pequeno número de caracteres florais e seus nomes foram amplamente adotados pelos contemporâneos, incluindo Lineu – o que significa que boa parte dos nomes de gênero adotados até hoje, remonta a Tournefort.

Tournefort reuniu os gêneros em grupos maiores, gerando 22 classes, a maioria das quais, não muito bem definidas e criticadas por serem artificiais, ou seja, baseadas em pequeno número de caracteres. Ainda assim, o sistema de Tournefort difundiu-se rápi-

do e foi amplamente utilizado até meados do século XVIII. Uma das razões do seu sucesso pode ser indicada justamente na escolha de pequeno número de caracteres, pois isso tornava o sistema simples e fácil de ser usado. O modo de nomear os gêneros e espécies também foi bem aceito e difundido rapidamente, pois não apenas organizava o que já era conhecido, como fornecia um princípio geral para os botânicos atribuírem um nome para cada nova planta descrita. Contribuiu ainda para a adoção ampla do sistema de Tournefort, a acuidade da flora descrita que lhe serviu de base.

Entre os séculos XVI e XVIII, foram muitas as publicações sobre plantas e muito diversas também as propostas para classificá-las. Expusemos aqui apenas dois exemplos, de Cesalpino e Ray, pois nosso objetivo não era o de detalhar a história da Botânica, mas tão somente indicar que os temas integrantes do sistema de Lineu, como a escolha dos critérios de classificação e as regras de descrição das plantas, tiveram origem em seus antecessores. Faltou indicarmos as origens do tema da reprodução sexual das plantas, com o que nos ocuparemos na próxima sessão.

## 4 A REPRODUÇÃO SEXUAL DAS PLANTAS

Entre as várias contribuições importantes atribuídas a Lineu, está o sistema sexual de reprodução das plantas, descrito em seu *Systema naturae*, de 1735. Neste tema, também, Lineu foi precedido por outros autores. Alguns atribuíram às flores a função da reprodução, discriminando seus órgãos femininos e masculinos, enquanto outros forneceram evidências experimentais sobre a ocorrência desse tipo de reprodução em plantas.

A idéia de que as plantas possuem diferenças sexuais, de modo análogo aos animais, remonta à Antigüidade grega. Em sua obra biológica, Aristóteles fornece indícios de que admitia existirem plantas de dois sexos distintos, mas recusa a idéia de que eles poderiam estar reunidos num mesmo indivíduo (Aristóteles, 1961, 817ª), como reconhecemos hoje nas plantas hermafroditas e monóicas. Aristóteles argumentava que se assim fosse, uma planta não requereria nada de fora de si mesma para gerar outro ser e isso representaria um grau de perfeição maior do que entre os animais, o que era inaceitável na sua *escala natural* – uma escala

gradual em que Aristóteles dispõe os seres, das plantas até o homem, segundo um certo grau de perfeição.

Desde o Renascimento, a ambição de realizar observação direta dos corpos naturais levou a análises sucessivamente mais detalhadas da forma e da função das diferentes partes que compõe o vegetal. No século XVII, esse aprofundamento levou ao surgimento de uma noção nova sobre a função das flores, antes atribuída à nutrição e eliminação de produtos residuais da planta. Estudos sobre a morfologia das partes florais contribuíram para formar a idéia da presença dos sexos masculino e feminino nas plantas. Duas importantes obras publicadas em 1671, do naturalista inglês Nehemiah Grew (1628-1711) e do italiano Marcelo Malpigui (1628-1694), registraram que a maior parte das flores possuía estames, e que esses órgãos pareciam corresponder àqueles que, nos animais, produziam o fluído espermático. Grew chegou a formular a hipótese de que os estames seriam, de fato, os órgãos

ACADEMIÆ
CÆSAREO LEOPOLD.
N.C.HECTORIS II.
Rudolphi Jacobi Camerarii,
Professoris Tubingensis,
AD
THESSALUM,
D. Mich. Bernardum Valentini
Professorem Giessensem
Excellentissimum,
DE
SEXU PLANTARUM
Epistola.
TVBINGÆ,
Typis Fidus Romanii,
A. M DC XCIV.

(a) (b)

Figura 10: (a) Rudolph Jacob Camerer ou Camerarius (1665-1721). (b) Página de rosto da *Carta sobre o sexo das plantas*, de Camerarius, 1744. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Jakob_Camerarius; Magnin-Gonze, 2004, p. 103.

masculinos da planta. Acatando esta opinião, seu conterrâneo John Ray notou que nas plantas que produzem frutos, as flores sempre possuem estames. Em experimentos realizados em seu jardim botânico em Cambrigde, Ray também percebeu que certas árvores, como as palmeiras, produzem mais frutos quando as plantas chamadas "femininas" são aspergidas com o pólen das plantas chamadas "masculinas". Foi o próprio Ray quem deu o nome "pólen" aos glóbulos liberados pelas anteras dos estames. Além disso, Ray forneceu uma definição bastante precisa da flor, como sendo a parte mais fina da planta, distinta pela cor, pela forma ou por ambos, e que precede ao fruto, que esconde por algum tempo, e então cai ou começa a definhar.

Quanto às evidências experimentais sobre a reprodução sexual das plantas, elas podem ser encontradas em carta escrita pelo botânico alemão Rudolf Jacob Camerer (1665-1721), publicada em 1694 (Figura 10a). Em seu livro (Figura 10b), Camerarius, como era chamado, anotou que a maioria das flores possuía estames e pistilos, de modo que elas se fertilizariam a si mesmas, ou seja, seriam hermafroditas – à semelhança do que havia sido recém descoberto em certas serpentes.

Camerarius também assinalou que em outras plantas, os estames e os ovários são produzidos em flores diferentes, mas do mesmo indivíduo, hoje chamado "monóico"; e em um terceiro tipo de plantas, estames e ovários são produzidos por flores diferentes de indivíduos diferentes atualmente chamadas "dióicas" (ver essas diferenças na ilustração de Lineu, na Figura 3 e ampliações na Figura 11).

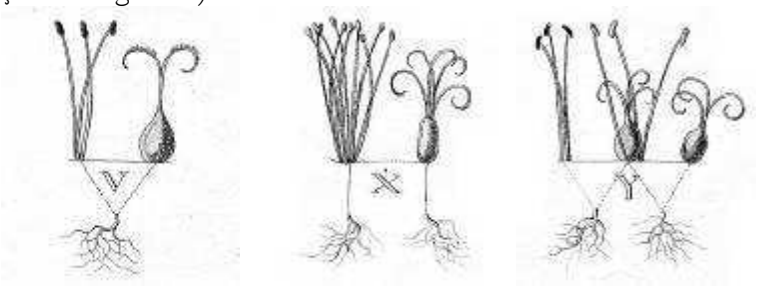


**Figura 11**. Ampliação de prancha do *Sistema natural* de Lineu de 1735. Fonte: http://images.google.com.br

Camerarius realizou experimentos com plantas dióicas, isto é, plantas em que alguns indivíduos contêm flores só com pistilos e outros indivíduos contêm flores só com estames. Mantendo os indivíduos masculinos afastados dos femininos, estes últimos só produziram frutos sem embrião. Em experimentos com outra espécie, depois de arrancar as flores masculinas, observou que as femininas produziram sementes, mas que nunca germinaram. Camerarius fez também experimentos com plantas monóicas, nas quais eliminou as flores masculinas quando em botão e, admitindo o papel fertilizante do pólen, preveniu o aporte de pólen de outras plantas. Neste último experimento, nunca obteve fruto bem formado, e sempre sem sementes. Concluiu então que as plantas formam sementes através de um processo sexual equivalente ao dos animais.

Além de Camerarius, outro autor também se dedicou ao tema. Em 1717, Sébastien Vaillant (ver Figura 5a), proferiu o *Discurso sobre a estrutura das flores, suas diferenças e uso de suas partes*, na inauguração de uma nova sessão do Jardim do Rei, em Paris, que foi publicado no ano seguinte como *Discurso sobre a estrutura da flor* (ver Figura 5b). Nesse livro está exposta a função sexual das flores e a comparação dos estames com os órgãos masculinos dos animais. Além disso, Vaillant também propõe que a terminologia usada para as partes florais refletisse suas funções, conforme podemos ler no trecho a seguir:

> As flores [...] devem ser tomadas pelos órgãos que constituem os diferentes sexos das plantas.
>
> Os órgãos que constituem os diferentes sexos das plantas são principalmente dois, a saber, os *Estames* e os *Ovários*. Os estames que eu chamo *órgãos masculinos* [...] correspondem ao que nos animais machos servem à multiplicação da espécie; são compostos de *cabeças* e *caudas*, ou se preferirmos termos comuns, ápices e filetes. Essas *cabeças*, que podemos chamar *testículos*, não somente porque possuem a mesma aparência, mas também porque desempenham o mesmo ofício; em todas as plantas completas, são duplos cartuchos ou cápsulas membranosas que, essencialmente, possuem dois lóbulos cheios de pó, cujos grãos possuem formas determinadas em cada espécie de planta. (Vaillant, 1718, pp. 2, 20)

Logo em seguida, Vaillant menciona estudos precendentes sobre os órgãos e funções das flores como os de Grew, Malpighi, Tournefort e Claude Joseph Geoffroy (1685-1752). Geoffroy, o jovem[11], era apotecário, químico e botânico e publicou suas *Observações sobre a estrutura e uso das principais partes das flores*, nas *Memórias da Academia Real de Ciências*, em 1711. O seu artigo também testemunha o momento em que está sendo reconhecida uma nova função às flores, tomando-as como correspondentes às partes que nos animais são destinadas à reprodução:

> Os filetes dos estames e seus ápices [...] eram vistos como vasos excretórios, próprios a separar o excesso do suco destinado à nutrição do jovem fruto. (Geoffroy, 1711, p. 209)

E em seguida esclarece:

> Mas, ao examiná-los melhor [...] temos todo direito de julgar que são verdadeiramente as partes masculinas das plantas. Na realidade, esses ápices são cápsulas ou vesículas que, chegando a um certo ponto de maturidade, se abrem e vertem um pó, de diferentes configurações segundo a diferentes plantas, e que, pelas observações que fiz, me pareceram contribuir à sua geração como partes essenciais. (*Id.*)

Esses são alguns exemplos de publicações anteriores ao *Sistema natural* de Lineu que referendavam a existência da reprodução sexuada das plantas. Assim, em vez de atribuir a Lineu a crição da idéia, é mais sensato dizer que a originalidade de sua contribuição é outra. O que Lineu fez foi perceber a operacionalidade que o número e a posição de estames e pistilos ofereciam à constituição de agrupamentos de plantas. Em outras palavras, Lineu fez uso de conhecimento teórico já disponível sobre a reprodução das plantas para eleger o critério de base para a classificação.

Passemos agora a detalhar outros aspectos da vida e da obra de Lineu, de modo a jogar novas luzes sobre temas que costumam ser apresentados de modo distorcido ou mesmo equivocado em livros didáticos.

---

[11] Era assim chamado por ser o irmão mais novo de naturalista conhecido da Academia de Paris, Étienne François Geoffroy (1725-1810).

## 5 BIOGRAFIA CIENTÍFICA DE CARL VON LINNÉ

Desde a juventude, Lineu mostrou sua propensão ao estudo das plantas. Com seu professor particular, Dr. Rothman, aprendeu os princípios da Botânica sistemática moderna e o modo de utilizar o sistema de classificação de Tournefort para examinar as plantas. Nessa época, Lineu também conheceu a teoria sexual de Vaillant, de modo que "desde o princípio, estiveram vinculados na sua mente os dois temas, classificação e sexualidade de plantas" (Eriksson, 1994, p. 65), embora só os tenha convergido mais tarde, ao propor o seu sistema de classificação, em 1734.

Na época, as universidades ofereciam um pequeno número de cursos, e quem tinha vocação para os estudos da natureza em geral cursava Medicina. Assim, Lineu matriculou-se no curso de Medicina da Universidade de Lund, em 1727, e, a partir do ano seguinte, na Universidade de Uppsala. Enquanto se preparava para ser médico, Lineu dedicou-se muito mais a atividades botânicas. Encarregou-se de restaurar e manter o abandonado Jardim Botânico de Uppsala, que na época de sua fundação, em 1650, estava entre os mais bonitos da Europa. Além disso, escreveu muitos textos sobre plantas.

Em 1730, Lineu escreveu um manuscrito, *Prelúdio acerca das plantas* (*Praeludia Sponsaliorum Plantarum*), publicado apenas bem mais tarde, no início do século XX, que já continha a primeira manifestação de sua convicção na função sexual dos estames e pistilos. No *Prelúdio* Lineu menciona outros autores que haviam se ocupado com a sexualidade das plantas. Um deles era Kilian Stobaeus (1690-1742), professor da Universidade de Lund, que estabelecia comparações entre plantas e animais, apontando as muitas semelhanças entre os dois grupos na forma de vida, de crescimento, envelhecimento e também nas doenças que lhes acometiam. Lineu referiu-se também ao inglês Samuel Morland (1625-1695) que publicou em 1705 um ensaio sobre as partes das flores. Morland era tão convencido do papel sexual da flor, que nem se preocupou em desenvolver os argumentos favoráveis à idéia[12]. Justa-

[12] Morland ocupou-se com uma questão controversa na época, que também era

mente com esses argumentos ocupou-se Lineu no *Prelúdio*, apoiando-se em suas próprias observações das plantas e rebatendo as críticas contidas em livro de um franco opositor ao sistema sexual, o italiano Julius Pontedera (1688-1757). Além dessas fontes, Lineu citou também o comentário de John Ray sobre diferenças sexuais entre plantas e sua concepção de "flor" – deveria ser assim designada apenas quando estivessem presentes os estames masculinos, e não pela presença dos estigmas vermelhos. No *Prelúdio* Lineu não se refere a flores masculinas e femininas, e pode não ter pensado ainda em nenhuma diferença sexual entre estames e estigmas. O reconhecimento de diferenças sexuais entre plantas femininas e masculinas exigiria antes que se reconhecesse que órgãos masculinos e femininos aparecessem em membros individuais diferentes da espécie e não apenas em flores diferentes do mesmo indivíduo.

Em novo manuscrito submetido à Sociedade de Ciência de Uppsala, em 1730, *Exercício botânico-físico sobre as núpcias e o sexo da plantas* (*Exercitatio Botanico-Physica de Nuptiis et Sexu Plantarum*), a teoria sexual de Lineu aparece em sua primeira forma mais acabada, não diferindo muito das formulações posteriores que Lineu publicou em *Acerca das plantas* (*Sponsalia Plantarum*), de 1746, e em *Sexo das plantas* (*Sexus Plantarum*), de 1760. No *Exercício botânico-físico* Lineu também rebateu outros críticos à sexualidade das plantas, como o sueco Georg Wallin (1686-1760), retomando as analogias entre plantas e animais: ambos sofrem doenças, ambos são dependentes do alimento e das estações, ambos transportam os alimentos por meio de um sistema de veias e vasos, parecendo-lhe natural estender a analogia às circunstâncias sexuais. Nesse texto, Lineu atribui a idéia aos "novos Botânicos" coletivamente, entre os quais destaca o nome de Vaillant (Eriksson, 1994, p. 70).

Além dos textos produzidos durante o período em que cursava Medicina, Lineu fez uma viagem à Lapônia, em 1732, financiada pela Sociedade Real de Ciências de Uppsala, para desenhar e des-

---

incerta para os que estudavam reprodução animal, de descobrir se era o próprio pólen, ou algum vapor emanado por ele, o responsável pela fertilização. Morland decidiu-se pelo pólen, enquanto Vaillant defendia que era o vapor (Eriksson, 1994, p. 67).

crever plantas e animais, assim como escrever sobre os costumes da população local (Frängsmyr, 1994, p. vii-viii). Os resultados foram publicados mais tarde, em 1737, em uma obra que lhe rendeu muito prestígio, a *Flora lapponica* (ver Figura 12).

À época em que terminou os seus estudos, em 1735, a Suécia ainda não emitia formalmente o diploma de médico, de modo que Lineu foi obtê-lo em Harderwijk, na Holanda. Por essa mesma razão, era comum à elite da época realizar estudos no exterior, de modo que Lineu aproveitou a ocasião para permanecer na Holanda por um período de três anos. Foi um período bastante importante para a consolidação de sua carreira. Na Holanda, não apenas envolveu-se em atividades de história natural, como estabeleceu contatos com patronos das ciências, além de colegas de diversas instituições, não apenas holandesas, mas também de Londres e Oxford, que visitou em 1736, e de Paris, que visitou em 1738.

(a)

CAROLI LINNÆI
*Diff. Med. & Acad. Imp. Nat. Cur. Soc.*
FLORA
LAPPONICA
Exhibens
PLANTAS
Per
LAPPONIAM
*Crescentes, secundum Systema Sexuale*
*Collectas in Itinere*
Impensis
SOC. REG. LITTER. ET SCIENT. SVECIÆ
A. CIↃ IↃ CC XXXII.
*Inſtitutæ.*
Additis
Synonymis, & Locis Natalibus Omnium,
Deſcriptionibus & Figuris Rariorum,
Viribus Medicatis & Oeconomicis
Plurimarum.

*AMSTELÆDAMI,*
Apud SALOMONEM SCHOUTEN.
CIↃ IↃ CC XXXVIII.

(b)

**Figura 12**. Frontispício (a) e folha de rosto (b) do livro *Flora lapônica*, com Lineu retratado na parte inferior da figura. Fonte: Magnin-Gonze, 2004, p. 121.

**Figura 13**. Coleção dos originais publicados por Lineu na Holanda. Fonte: Anderson, 1997, p. 68.

Em Leiden, conheceu o médico de grande prestígio em toda a Europa, Hermann Boerhaave (1668-1738), cujas teorias fisiológicas havia estudado na juventude com Rothman. Foi contratado para a restauração do jardim particular de um banqueiro da cidade, George Clifford, o que lhe rendeu outra publicação, em 1737, *Horto clifortiano* (*Hortus cliffortianus*). Além de novos textos como este, na sua estada holandesa, cuidou de publicar os manuscritos trazidos na bagagem, dando a público o nada modesto número de oito livros, alguns dos quais representados na Figura 13. Dentre eles, algumas das suas mais importantes obras como a primeira edição do *Sistema Natural* (1735), *Fundamentos da Botânica* (1736), *Gêneros de Plantas* (1737) e *Classes de Plantas* (1738), discutidos anteriormente.

De volta à Suécia, em 1738, atuou primeiro na clínica médica em Estocolmo e, a partir de 1741, como professor de Medicina na Universidade de Uppsala, onde permaneceu e desenvolveu sua sólida carreira científica. Lineu foi um professor bem sucedido. Ele teve muitos alunos envolvidos em suas aulas práticas no campo, em excursões botânicas que ele chamava "herborizações" (*herbations*). Suas aulas chegavam a contar com 300 estudantes na audiência (Frängsmyr, 1994, p. ix). Também levava seus alunos à sua casa de campo, nos arredores de Uppsala e trabalhava ativamente em suas dissertações, sendo conhecido o fato de que muitas delas foram escritas, na verdade, pelo próprio Lineu. Ele publi-

cou as dissertações de seus alunos entre os anos de 1749 e 1769 com o título *Prazeres acadêmicos* (*Amoenitates academicae*).

Além do envolvimento com o ensino, Lineu manteve alta produção científica, publicando muitos outros livros ao longo de sua carreira. Entre eles, destacam-se o *Philosophia Botânica*, de 1751, no qual estabeleceu regras para a ciência botânica e o *Species Plantarum*, de 1753, no qual introduziu a nomenclatura binomial ao sistema de classificação que havia proposto 18 anos antes. Além do seu interesse no inventário, descrição, nomenclatura e classificação de plantas, Lineu também realizou estudos experimentais. Além das plantas, também se interessou pelos microrganismos, e deixou contribuições nos campos da Zoologia e da Geologia.

## 6 EQUÍVOCOS RECORRENTES SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE LINEU

Conforme o exposto nas sessões anteriores, podemos ver que muitos equívocos são cometidos nos materiais didáticos quando se referem à história da taxonomia e às contribuições de Lineu nesse tema. Ao trabalhar o tema com os alunos é importante que o professor forneça subsídios históricos mais adequados e exatos sobre os eventos que envolvem a biografia e a obra de Lineu. Para auxiliá-lo nessa tarefa, resumimos a seguir alguns dos equívocos mais freqüentes nos livros didáticos do Ensino Médio:

1. A classificação dos seres vivos não foi pensada pela primeira vez por Lineu, nem foi ele o primeiro a estabelecer um método amplamente utilizado. Vimos que antes dele, diversos sistemas foram propostos (tendo sido mencionados nas sessões anteriores apenas alguns). Também vimos que pelo menos um deles, o de Tournefort, foi utilizado ao longo de toda a primeira metade do século XVIII por um grande grupo de naturalistas, inclusive o próprio Lineu.
2. O sistema de classificação de Lineu não foi elaborado inteiramente, de uma só vez. Considerando que o seu projeto de classificar plantas inclui a nomenclatura e a descrição, que por sua vez exigem adoção de definições e procedimentos terminológicos padronizados, vimos que esses aspectos desenvolveram-se ao longo de diversos anos, desde os manuscritos produzidos no período de sua formação universitária até as sucessivas edições ampli-

adas de seus principais livros. Muitas vezes, essas edições e respectivas datas de publicação são mencionadas nos livros didáticos com datas erradas.

3. A idéia central da proposta de Lineu, a sexualidade das plantas, não foi desenvolvida inicialmente por ele. A idéia pode ser rastreada desde Aristóteles e o desenvolvimento de uma teoria sexual das plantas pode ser remontado a renascentistas, como Cesalpino, ganhando uma formulação própria em predecessores mais imediatos, e mencionados pelo próprio Lineu, como Camerarius e Vaillant. O que Lineu fez de original foi perceber a operacionalidade que a contagem de estames e pistilos podia fornecer à distribuição dos grupos de plantas, tornando-os critérios fundamentais da classificação.

4. Uma parte das regras de nomenclatura não foi inventada por Lineu, mas reunida a partir de obras precedentes. Ele tornou regra uma prática que já era corrente desde autores renascentistas, que os nomes do gênero, e mais tarde, da espécie, fossem sempre formados a partir de uma raiz grega ou latina. Ele não criou, mas aperfeiçoou a nomenclatura binomial, que também já havia sido usada nos séculos XVI e XVII. A nomenclatura binomial foi oficializada por Lineu como uma ferramenta inestimável à classificação 17 anos depois da proposta de classificação.

5. Embora muitas vezes chamado de naturalista, vimos que sua formação foi em Medicina. Também vimos que mudou a grafia de seu nome por volta dos 50 anos de idade para Carl von Linné.

6. Contextualizar a contribuição de Lineu não implica em desmerecê-la. São seus os créditos sobre o estabelecimento de a) uma nomenclatura coerente, b) bases sólidas para numerosos gêneros, grande parte naturais, e milhares de espécies, c) uma terminologia descritiva, com diversos termos modernos e d) o aumento sensível do vocabulário técnico para descrever órgãos e propriedades, imprescindível para a descrição científica das plantas com flores.

A ausência de menções aos predecessores e contemporâneos envolvidos com os mesmos temas, retirando Lineu de seu próprio contexto, traz conseqüências sérias para a transmissão da natureza do empreendimento científico, gerando uma visão distorcida de uma atividade feita por personagens isolados em "torres de marfim".

Além disso, não comparece nos livros didáticos a mais preciosa contribuição que o estudo de Lineu poderia trazer ao ensino da taxonomia no Ensino Médio: a discussão sobre os modos possíveis de se organizar o mundo vivo e pela discussão dos critérios que serviriam à seleção das características relevantes à composição de grupos taxonômicos.

## 7 CONCLUSÕES

Lineu estabeleceu o padrão para os estudos botânicos que seguimos até hoje. "A Botânica, disse ele, é a ciência natural que fornece o conhecimento dos vegetais" (Lineu [1736], *in* Hoquet, 2005, p. 179). Essa definição do objeto de investigação da disciplina, que pode parecer-nos óbvia hoje, representou, na sua época, a conquista da autonomia da Botânica, tornando-a independente do estudo de plantas pautado por aspectos utilitários, conforme interessava à Medicina. Lineu queria que as plantas fossem vistas, descritas, classificadas e nomeadas por si mesmas. Assim, ainda que precedido dos diversos estudiosos mencionados neste artigo, não foi por acaso, nem por descuido que o trabalho de Lineu tornou-se um marco dos estudos botânicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ANDERSON, Margaret J. *Carls Linnaeus*. Springfield: Enslow, 1997.

ARISTOTLE. *On the parts of animals*. Trad. W. Ogle. *In*: SMITH, J. A. & ROSS, W. D. *The works of Aristotle*. Vol. V. Oxford: Clarendon Press, 1958.

_____. *De plantis*. Translated by E. S. Forster. *In*: ROSS, W. D. *The works of Aristotle*. Vol. VI. Oxford: Clarendon Press, 1961.

BOLTON, Sarah K. *Famous men of science*. New York: Thomas Y. Crowell & Co., 1889.

ERIKSSON, Gunnar. Linnaeus the botanist. Pp. 63-109, *in*: FRÄNGSMYR, Tore. (ed.) *Linnaeus: the man and his work*. Canton, MA: Science History Publications, 1994.

FRÄNGSMYR, Tore. (ed.) *Linnaeus: the man and his work*. Canton, MA: Science History Publications, 1994.

_____. Editors Introduction. Pp. vii-xiv, *in*: FRÄNGSMYR, Tore. (ed.) *Linnaeus: the man and his work*. Canton, MA: Science History Publications, 1994.

GEOFFROY, Claude Joseph. Observações sobre a estrutura e uso das principais partes das flores. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences avec les mémoires de 1711.* Paris: Académie royale des sciences, 1711. Disponível em <www.gallica.fr>. Acesso em setembro de 2008.

HOQUET, Thierry. Fonder la botanique. Pp. 155-175, *in*: HOQUET, Thierry (org.). *Les fondements de la botanique: Linné et la classification des plantes*. Paris: Vuibert, 2005.

LLOYD, Geoffrey Ernest Richard. *Science, folklore and ideology. Studies in the life sciences in ancient Greece.* Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

LINNÉ, Carl von. *Fondements botaniques, qui, comme Prodrome à de plus amples travaux, livrent la théorie de la science botanique par brefs aphorismes.* [1736] Trad. Gérald Dubos et Thierry Hoquet. Pp. 177-227, *in* : HOQUET, Thierry (org.). *Les fondements de la botanique: Linné et la classification des plantes*. Paris: Vuibert, 2005.

_____. *Philosophie botanique de Charles Linné, dans laquelle sont expliqués les fondements de la botanique*. [1751] Trad. François-Alexandre Quesné. Paris; Rouen: Cailleau/Leboucher, 1788. Disponível em <http://books.google.com/> Acesso em agosto de 2008.

_____. *Système de la nature de Charles de Linné. Classe premiere du regne animal, contenant les quadrupèdes vivipares & les cétacées*. Trad. Vanderstegen de Putte. Bruxelles: Lemaire, 1793. Disponível em <http://books.google.com/> Acesso em agosto de 2008.

LINNÉ, Carl & LEE, James. *An introduction to Botany containing an explanation of the theory of that science; extracted from the works of Dr. Linnaeus*. 3 ed. London: J. F. and C. Rivington, 1788.

MAGNIN-GONZE, Joëlle. *Histoire de la botanique*. Paris: Delachaux et Niestlé, 2004.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. Pp. xvii-xxx, *in*: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MAYR, Ernst. *The growth of biological thought. Diversity, evolution, and inheritance.* Harvard (MA): Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

O'HARA, Robert J. Systematic generalization, historical fate, and the species problem. *Systematic Biology*. **42**(3): 231-246, 1993.

RAVEN, Charles E. *John Ray naturalist. His life and works.* Cambridge (UK): Cambridge University Press, 1950.

RAY, John. *Methodus plantarum nova.* [Londini, Impensis Henrici Faithorne & Joannis Kersey, 1682] Trad. Stephen Nimis, Kathleen Tschantz & Michael Vincent. Miami, 2007. Disponível em <http://montgomery.cas.muohio.edu/nimissa/research/methodus%20folder/methodusprelimінary.html> Acesso em setembro de 2008.

UPPSALA UNIVERSITET. *Linné on line.* Disponível em <http://www.linnaeus.uu.se/online/index-en.html> Acesso em maio 2008.

VAILLANT, Sébastien. [1717] *Discours sur la structure des fleurs.* Leide: P. Vander, 1718. Disponível em <http://books.google.com/> Acesso em agosto de 2008.

# O modelo de DNA e a Biologia Molecular: inserção histórica para o Ensino de Biologia

**Mariana Ap. Bologna Soares de Andrade** *
**Ana Maria de Andrade Caldeira** #

**Resumo:** O desenvolvimento do conhecimento científico caracteriza-se, na maioria das vezes, por processos de trabalhos coletivos entre os pesquisadores. Um dos caminhos que pesquisadores utilizam para explicar fenômenos é a elaboração de modelos teóricos de estruturas e funções. O modelo da molécula de DNA elaborado por Watson e Crick foi significativo para o desenvolvimento de pesquisas na área da Biologia Molecular. Neste trabalho, apresentamos, em um texto para alunos do Ensino Médio, o processo de construção desse modelo e os principais trabalhos de outros autores que contribuíram para que a dupla de pesquisadores elaborasse o modelo final. No texto do professor discutimos, de forma mais aprofundada, alguns conceitos de cristalografia e da história da biologia molecular e, também, sobre construção de modelos e a utilização desses elementos no Ensino de Ciências.
**Palavras-chave**: ensino de Biologia; história da biologia; modelo da molécula de DNA.

**The DNA model and the molecular biology: historical insertion to biology teaching**

**Abstract:** The development of scientific knowledge is characterized most often by the processes of collective work among researchers. One usual ways researchers take to explain phenomena is developing theoretical models of structures and functions. The DNA molecular model elaborated by Watson and Crick was significant to the Molecular Biology research development. In this work we present in a high school text the construction process of this model and the main work from other researchers who have contributed to the couple to produce the

* Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e membro do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia – UNESP. Email: marianabologna@yahoo.com.br

# Docente do Departamento de Educação e membro do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia – UNESP. Email: anacaldeira@fc.unesp.br

final model. In the teacher's text we discussed, in depth, some concepts of crystallography and the history of molecular biology, and also on construction of models and use these elements in the Science teaching.
**Keywords**: Biology teaching; History of Biology; DNA molecular model.

## 1 INTRODUÇÃO

Escrever um texto didático com o objetivo de abordar o desenvolvimento histórico de um determinado conceito científico não é tarefa fácil, pois, interpretações errôneas podem acarretar distorções na aprendizagem desses conceitos. Se o conceito científico a ser relatado envolve um conjunto grande de informações - como a participação de vários cientistas, correntes teóricas divergentes, especialidades distintas (química, física, biologia, cristalografia, etc.) e com um período de tempo, de aproximadamente 20 anos - é preciso estabelecer quais são os principais pontos a serem discutidos com os alunos para que a aprendizagem dos conceitos bem como da história da construção desse conhecimento ocorram de maneira a possibilitar que a aprendizagem ocorra de forma articulada e significativa.

O modelo da estrutura da molécula de DNA, elaborado por James Dewey Watson (1928-) e Francis Harry Compton Crick (1916-2004), é um dos mais conhecidos e utilizados no Ensino de Biologia. Esse modelo teve papel importante nos estudos do DNA e da hereditariedade e permitiram o desenvolvimento da Biologia Molecular, ocorrido a partir da segunda metade do século XX. A molécula de DNA presente no material genético traz as informações que orientam o desenvolvimento dos organismos vivos e, por isso, optamos pelo estudo desse modelo proposto em 1953: a construção da estrutura da molécula do ácido desoxirribonucléico (DNA) – a sigla do inglês *DesoxiriboNucleic Acid*.

A compreensão de modelos é um tema que recebe grande atenção nas pesquisas em Ensino de Ciências por fazer parte do cotidiano dos processos de ensino e aprendizagem. Nas discussões sobre modelos, costuma-se dividi-los em duas categorias: os modelos mentais e os modelos conceituais. Modelos mentais são representações pessoais, construídas mentalmente para a compreensão de um determinado fenômeno; já modelos conceituais são representações externas construídas por indivíduos ou coletividades de pesquisadores para facilitar a compreensão ou o ensino de

determinado fenômeno. Segundo alguns autores, os modelos mentais são representações do conhecimento implicitamente incompletas, imprecisas, instáveis, incoerentes com o conhecimento normativo em vários domínios. O modelo mental é, contudo, útil e pode ser considerado como um nível intermediário de análise de um fenômeno, anterior ao modelo conceitual. Os modelos conceituais são representações completas e precisas, coerentes com o conhecimento científico aceito (Greca & Moreira, 2000, p. 2-3; 5).

Compreender a forma (estrutura) e função (atividade) da molécula de DNA pode nos auxiliar a estudar questões fundamentais das Ciências Biológicas - ressaltamos, no entanto, que o processo de desenvolvimento dos organismos é um estudo complexo, que vai além do conhecimento sobre a estrutura de uma molécula. Assim, utilizar o modelo de DNA no Ensino de Biologia requer que se compreenda a necessidade de estabelecer relações entre os conhecimentos científicos que possibilitaram a elaboração do modelo para que a aprendizagem dos alunos ocorra, nas devidas proporções, pela reconstrução do pensamento dos cientistas.

Um dos objetivos deste texto é recuperar uma discussão presente no final dos anos 40 e início dos anos 50 do século XX, motivada pela idéia de que o entendimento das estruturas das macromoléculas poderia solucionar questões relacionadas com a vida dos organismos. Esse aspecto, responsável por desencadear uma série de pesquisas - entre elas a de Watson e Crick - não é freqüentemente abordado nos livros didáticos de Biologia.

Percebemos que o modelo de DNA apresentado pelos livros didáticos elaborados para alunos do Ensino Médio, aparece de forma historicamente descontextualizada do conhecimento biológico. Apontam o modelo como sendo único e sem deixar claro que sua construção resultou de uma série de pesquisas anteriores. Priorizam o modelo e o modo como a informação é codificada, em detrimento de uma construção didática que possibilite aos alunos compreender quais foram os conhecimentos mobilizados pelos autores do modelo em seu processo de construção.

Em atividades didáticas a aprendizagem de modelos conceituais é efetiva quando o aluno compreende que por um conjunto de informações (conclusões de pesquisas) os cientistas estabelecem relações (constroem modelos mentais) que possibilitam construção de modelos conceituais. Para a aceitação dos modelos concei-

tuais, deve ser considerado se esses modelos se sustentam com base nos conceitos já aceitos pela comunidade científica.

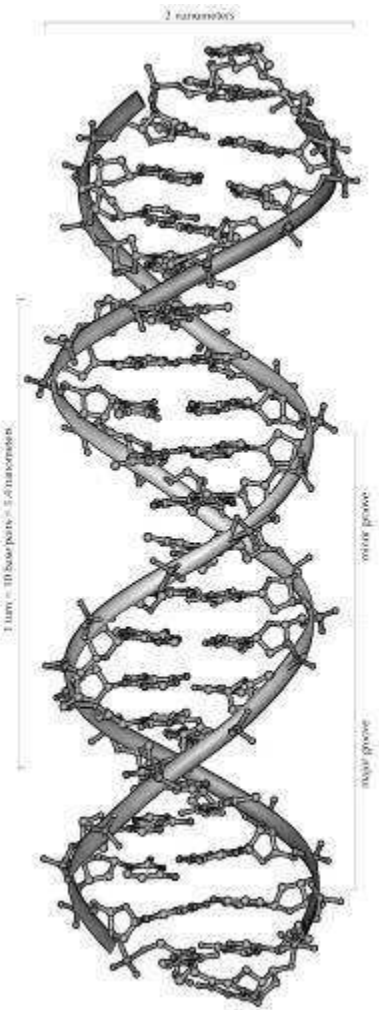



**Figura 1.** Modelo de parte da estrutura helicoidal de uma molécula de DNA. Imagem disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/DNA_Overview.png>

A percepção desse movimento permite aos alunos aprender conceitos científicos e, também, a construção desses conceitos, possibilitando um processo de análise, síntese, re-análises e novas sínteses que o farão desenvolver habilidades do pensar que não são associadas só a esse grupo conceitual, mas que servirão de base para novas aprendizagens. Assim, reconstruir os processos da produção do conhecimento biológico, como por exemplo, a proposição do modelo da molécula do DNA, pode permitir aos alunos a compreensão dos conceitos envolvidos e o modo de fazer da ciência e do cientista. Ao recuperar os métodos de trabalho de um cientista, os alunos podem aprender o conhecimento propriamente dito e desenvolver habilidades do pensar lógico.

Para que esses objetivos se cumpram, é necessário articular os processos de ensino e aprendizagem. Optamos por produzir um texto para alunos do Ensino Médio, que possibilite a aprendizagem de processos e conceitos que fazem parte do conhecimento biológico, e outro complementar, para o professor, mediador do processo de ensino e aprendizagem.

## 2 O DNA E A BIOLOGIA MOLECULAR

Constantemente, ouvimos falar que nosso material genético é o DNA. Nos livros didáticos o encontramos representado, em ilustrações, por uma estrutura helicoidal, como na Figura 1.

Lemos e ouvimos que as pesquisas desenvolvidas na área da Biologia Molecular podem nos trazer respostas para diversos aspectos dos organismos vivos como: desenvolvimento de doenças, clonagem, genoma etc. Por que essa molécula, o DNA, é tão importante? Por que a sua descrição trouxe tantos avanços ao desenvolvimento científico? E ainda, de que forma as pesquisas sobre nosso material genético foram possíveis?

Para começarmos, observe os exemplares de seres vivos representados na Figura 2. Podemos tentar estabelecer relações entre a Figura 1 e a Figura 2? Na Figura 2, todos representam seres vivos, mas, o que eles têm em comum? O que os diferencia? O que permite que eles apresentem um ciclo biológico como, nascer, crescer e morrer? Em síntese: como podemos explicar o que é vida? O que faz com que sejamos seres vivos, interagindo com outros seres e com o ambiente?

**Figura 2:** Exemplos de seres vivos

Essas perguntas podem ter sido formuladas por você, ainda que de outras formas, ao estudar ciências naturais e, particularmente, Biologia. Podemos dizer que, se compararmos os exemplares de seres vivos, eles apresentam características que os diferenciam. Mas sabemos, hoje, que no núcleo das células dos eucariontes ou no citoplasma dos procariontes estão presentes cromossomos compostos por ácidos nucléicos.

Nos dias atuais já há uma quantidade significativa de informações sobre como o DNA, cromossomos e genes, por processos de interações com outras estruturas dos organismos, expressam-se em características dos seres vivos. Entretanto, todas essas informações são possíveis porque estudos anteriores deram suporte para as pesquisas atuais.

## 2.1 Alguns estudos que antecederam o modelo de DNA

O que conhecemos hoje como DNA começou a ser estudado em 1869. Ao analisar uma amostra de pus, o bioquímico alemão Johann Friedrich Miescher (1844-1895) identificou uma nova substância ácida e denominou-a nucleína. Ela foi assim denominada porque era proveniente dos núcleos das células de glóbulos brancos presentes no pus. Em 1889, Richard Altmann (1852-1900) confirmou a natureza ácida do material e o denominou de ácido nucléico. Estudos posteriores, realizados em 1909 por Phoebis Levine (1869-1940) e Walter Jacobs (1883-1967), possibilitaram determinar a organização das moléculas de fosfato, do açúcar

e das bases nitrogenadas (adenina, guanina, citosina e timina) como sendo a unidade fundamental do ácido, o nucleotídeo. A figura 3 mostra a estrutura de um ácido nucléico e suas unidades, os nucleotídeos, como é conhecida atualmente:

A relação entre a molécula de DNA e a hereditariedade foi estabelecida nos anos 40 e 50 do século XX e um dos trabalhos que contribuíram para esclarecer a natureza química do material genético foi o de Oswald Avery (1877-1955), Colin MacLeod (1909-1972) e Maclyn MacCarty (1911-2005), publicado em 1944. Dúvidas acerca da aceitação dos resultados de Avery e colaboradores surgiram na época. Contudo, é provável que tenham despertado o interesse de outros pesquisadores em conhecer melhor a estrutura do DNA. Em 1951, o bioquímico austríaco Erwin Chargaff (1905-1992) constatou que a proporção entre as bases Adenina-Timina e Guanina-Citosina era sempre mantida no material genético.

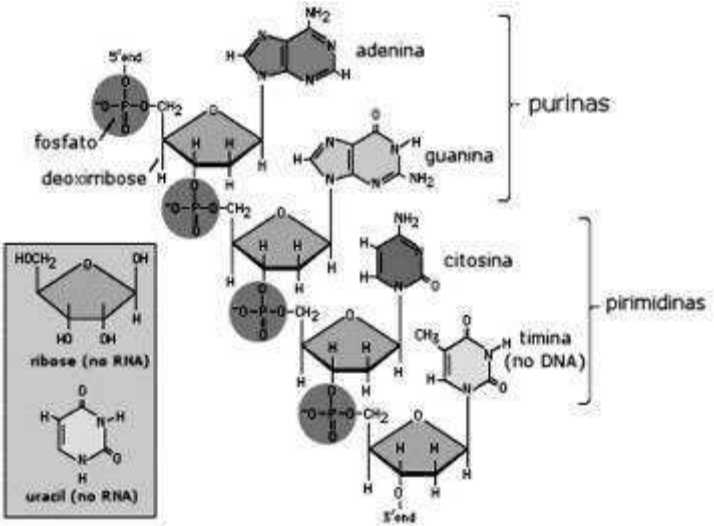



**Figura 3.** Os ácidos nucléicos são formados pelo encadeamento de nucleotídeos ligados por uma cadeia de açúcar e fosfato. Os nucleotídeos são compostos de uma pentose, um fosfato e base nitrogenada. A base nitrogenada pode ser do grupo das bases púricas (adenina e guanina) ou das pirimídicas (citosina, timina e uracila). Imagem disponível em: http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/images/vida_dna_bases.gif

As dúvidas anteriormente mencionadas parecem ter sido resolvidas com os trabalhos de Alfred Day Hershey (1908-1997) e Martha Chase (1907-2003), em 1952. Este trabalho envolvia experimentos com bacteriófagos marcados com elementos radioativos concluindo que o material genético era o DNA.

## 2.2 A construção do modelo da molécula de DNA

A proposição de um modelo que nos parece simples só é possível porque os investigadores mobilizam os conhecimentos já existentes, percebem quais são os principais pontos que são importantes e consistentes, levantam dúvidas, problemas, e propõem hipóteses para resolvê-las.

Retomando a questão da estrutura do DNA, o conjunto de informações que a comunidade científica dispunha até a década de 1950, permitiu-lhes conhecer, ainda que não totalmente, a composição química da molécula de DNA. Mas, de que modo o sal, a base e o açúcar, componentes da unidade básica do DNA, isto é, do nucleotídeo (Figura 3), se ligavam e formavam uma estrutura espacial, ainda era uma incógnita para os cientistas.

**Figura 4.** Francis Crick (esquerda) e James Watson (direita). Imagem disponível em:
http://osulibrary.orst.edu/specialcollections/coll/pauling/dna/pictures/watsoncrick-walking.jpg

A molécula de DNA, tal como é aceita atualmente, foi descrita em 1953 pelo biólogo James Dewey Watson e pelo físico e bioquímico Francis Harry Compton Crick, em um artigo publicado na Revista *Nature*. Os dois pesquisadores tiveram a oportunidade de trabalhar no mesmo laboratório em Cambridge, na Inglaterra, o *Cavendish Laboratory*.

No cenário das pesquisas referentes à elucidação do modelo de DNA, vários grupos estavam envolvidos: além do Cavendish, na Inglaterra, havia também o grupo do King's College, onde trabalhavam Maurice Wilkins (1916-2004) e Rosalind E. Franklin (1920-1958). Nos Estados Unidos, havia o grupo do Instituto de Tecnologia da Califórnia, conhecido como Caltech, onde trabalhava Linnus Pauling (1901-1994).

Para compreender como que essa estrutura chegou a ser proposta pela dupla precisamos olhar com mais detalhes o contexto em que as pesquisas sobre o modelo de DNA se desenvolveram. O interesse pelos estudos sobre os ácidos nucléicos iniciou-se logo após a Segunda Grande Guerra Mundial, quando a Sociedade Experimental de Biologia organizou, em julho de 1946, um simpósio em Cambridge, na Inglaterra, sobre o tema. Esse encontro desencadeou interesse de vários grupos de pesquisa que buscaram compreender a estrutura do material genético.

Naquela ocasião, William T. Astbury (1898-1961), que era físico e também biólogo, já apresentava suas idéias de que as seqüências das bases do DNA eram determinadas por arranjos químicos, ou geométricos ou, ainda, a combinação de ambos. Ele utilizava a difração de Raios-X para obter as imagens de moléculas de DNA e, por meio dessa técnica, propôs como seria a estrutura dos nucleotídeos com suas distâncias e ângulos. Apesar de seu trabalho não ter sido suficiente para elaborar um modelo, os diagramas construídos por ele mostravam um empilhamento de nucleotídeos, contribuindo para que outros cientistas construíssem seus modelos tridimensionais do DNA.

A tentativa de todos os interessados era buscar um modelo que pudesse explicar quais eram os pontos de união, formando ligações entre os nucleotídeos. O problema a ser resolvido era: como os nucleotídeos formados por uma base nitrogenada, uma molécula de açúcar e um grupo fosfato se ligavam em cadeias. Um

modelo consistente, com essas informações, poderia facilitar a compreensão da estrutura geral da molécula.

Entre os vários modelos propostos, e que Watson e Crick tiveram contato, está o do cristalógrafo Sven Furberg (1920-1983), que foi baseado no trabalho de Astbury. Neste modelo, o DNA era caracterizado por uma única hélice de nucleotídeos empilhados e com anéis de açúcar, que mostravam as imagens do material que ele tinha conseguido pela análise cristalográfica. Entretanto, os dados mais importantes do trabalho – e que chamaram a atenção de Watson quando ele assistiu à palestra de Furberg, em um Congresso em Nápoles, em 1951 – foram a disposição dos ângulos nos quais os nucleotídeos se apresentavam na molécula e a estrutura helicoidal da molécula.

No mesmo congresso, Wilkins apresentou o seu duplo objetivo de pesquisa sobre ácidos nucléicos: a estrutura e a orientação molecular de ácidos nucléicos estudados em preparados obtidos a partir de espermatozóides de moluscos do gênero *Sepia*. Essa palestra, ouvida por Watson, foi decisiva para a sua transferência de Copenhague para Cambridge. A partir de então ele inicia suas pesquisas relacionadas à estrutura do DNA.

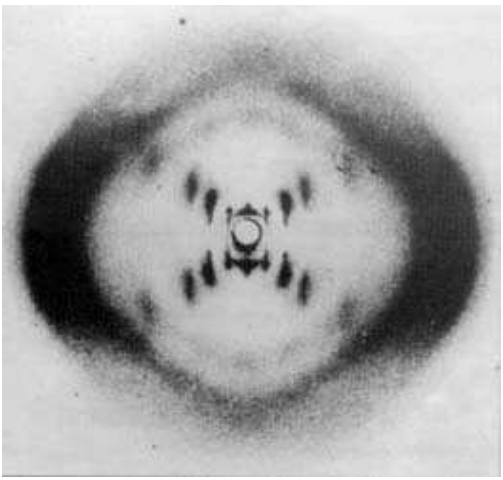


**Figura 5:** Imagem cristalográfica do cristal de DNA obtida por Rosalind Franklin. Imagem disponível em:
http://distancelearning.ksi.edu/demo/bio378/DNA_files/image009.jpg

Depois de assistir a uma palestra de Rosalind, Watson teve acesso às imagens que a pesquisadora obteve no laboratório e anotou vagamente os cálculos realizados por ela. Passou essas informações para Crick e, do conjunto de dados, Watson e Crick entenderam que tinham informações suficientes para apresentar um modelo de DNA. Contudo, ainda enfrentavam os seguintes problemas: decidir qual era o número de cadeias de polinucleotídeos dentro da molécula de DNA (os dados poderiam ser compatíveis com uma ou mais cadeias), saber exatamente os ângulos e como os filamentos de DNA se torciam em torno de um eixo central.

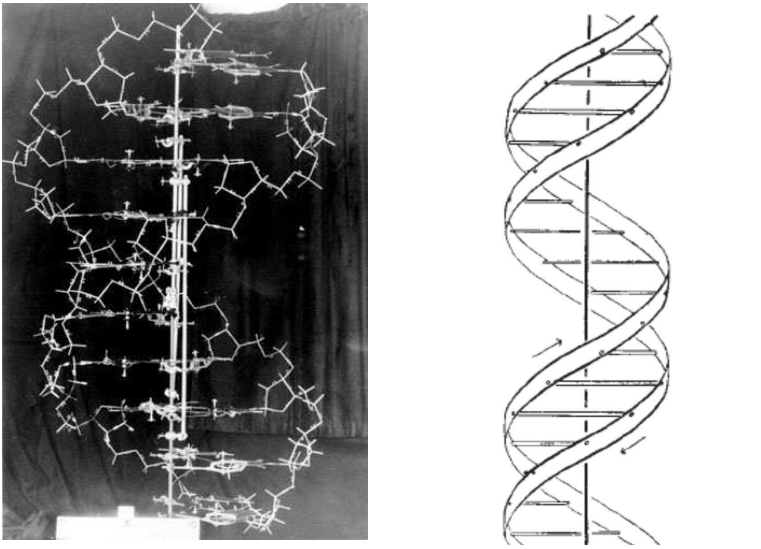
Em 1951, apresentaram o primeiro modelo, que era constituído de três cadeias. Naquela ocasião, Rosalind e Wilkins foram chamados para avaliar o modelo e descartaram a possibilidade de a molécula ter a forma helicoidal. Além disso, a composição química apresentava problemas, invalidando o modelo.

Watson se dedicou então às pesquisas sobre o vírus do mosaico do tabaco (VMT), que era composto de RNA em sua estrutura molecular. Ele entendia que se obtivesse algum resultado com suas pesquisas poderia, comparativamente, chegar ao DNA. Em seus estudos, Watson concluiu que o VMT possuía uma estrutura

**Figura 6:** Rosalind E. Franklin (1920-1958) e Maurice Wilkins (1916-2004). Imagem disponível em:
http://distancelearning.ksi.edu/demo/bio378/DNA_files/image009.jpg

helicoidal. Isso fez com que ele procurasse Crick e desse novo ânimo à pesquisa sobre a estrutura do DNA. Associados a isso, começaram a discutir os dados que conheciam sobre as relações de base de Chargaff. Precisavam, também, solucionar um problema: como as bases púricas e pirimídicas se ligavam entre si e como essa ligação poderia dar sustentação ao modelo helicoidal?

Baseado também nos dados apresentados por Astbury, Pauling propôs um modelo de tripla hélice. Watson teve acesso a esse modelo no final de 1952 por meio de uma correspondência de Linus Pauling para seu próprio filho. Ao tomar conhecimento deste modelo, ainda a ser publicado, Watson se desapontou, achando que a estrutura do DNA já estava elucidada. Mas, ao detectar uma série de inconsistências na proposta de Pauling, ele retomou com ânimo suas pesquisas. Parece, então, que o modelo de Pauling serviu como elemento de acirramento na corrida pela publicação da estrutura do DNA.



(a) (b)

**Figura 7**. (a) Modelo em metal elaborado por Watson e Crick. (b) Esquema do modelo de DNA publicado no texto de 1953 (Watson e Crick, p. 737, 1953)

Desta forma, Watson e Crick perceberam que um modelo de dupla-hélice seria mais consistente do que qualquer outro. Watson organizou o modelo das bases em papel e, com auxilio de Jerry Donohue (1920-1985)– que apresentou configurações de bases desconhecidas por Watson,– identificou quais formas bioquímicas das bases seriam mais apropriadas para a estrutura do DNA.

O novo modelo deveria, então, estar em acordo com os dados de Chargaff e, por meio de tentativas e erros, Watson percebeu que poderia unir adenina com timina e citosina com guanina. Essas proporções, descritas por Chargaff, correspondiam exatamente a esse emparelhamento.

As imagens de cristalografia de Rosalind e os cálculos realizados por Wilkins foram determinantes para embasar os autores. Assim como Astbury e Furberg, Rosalind e Wilkins também trabalhavam com difração de Raios-X.

Watson e Crick confeccionaram um modelo em metal (figura 7a) e chamaram Wilkins e Rosalind para avaliá-lo, e estes concordaram com a estrutura proposta. Decidiram então enviar a publicação para a revista *Nature*, citando os principais dados e autores que ajudaram nessa construção. Além disso, foi decidido, também, que Wilkins e auxiliares, bem como, Rosalind Franklin e Raymond G. Gosling (1926 -) mandariam também artigos independentes, com os dados experimentais de difração que sustentavam o modelo. Os artigos foram publicados no volume 171 da revista *Nature*, de abril de 1953.

Ao declararem que o modelo proposto (Figura 7b) era *radicalmente diferente*, eles pretendiam enfatizar a vantagem que a dupla-hélice apresentava em relação às demais. Salientamos, no entanto, que mesmo a proposta sendo original, ela é resultado do aprendizado dos dois com as tentativas, sem sucesso, de outros autores e dos dados de cristalografia produzidos por Wilkins e Franklin.

A repercussão do modelo na comunidade científica não foi imediata. Os cientistas consideravam o modelo muito simples e teórico. Somente no final da década de 50, e início da década de 60 seu potencial para interpretar outras dúvidas em Biologia Molecular passou a ser considerado.

Crick continuou seus trabalhos de Biologia Molecular com estudos sobre a natureza do código genético e faleceu em 28 de julho de 2008. Watson dedicou-se a produção de material didático

sobre Biologia Molecular e a gerenciar projetos de pesquisa na mesma área.

Sabemos hoje que os ácidos nucléicos carregam a informação genética e, por meio dela, os organismos apresentam o padrão de sua espécie, com graus de variabilidade e que os genes regulam as funções biológicas. Não sabemos ainda quais são todos os caminhos ou vias bioquímicas por meio das quais esses genes se expressam. É importante salientar que hoje avançamos para entender a vida como um fenômeno complexo, que não se reduz à discussão sobre o modo como as moléculas constituem os genes. Além disso, as pesquisas voltam-se para tentar trabalhar com múltiplas variáveis que afetam a vida dos seres vivos. Convidamos você a estudar Biologia e, quem sabe, no futuro, você poderá ser um dos pesquisadores estimulados a buscar elementos para responder o que é vida!

## 3 TEXTO COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR

A introdução dos estudos moleculares sobre o DNA em livros do Ensino Médio ocorre, de maneira geral, na unidade de Citologia. Essa opção deve-se talvez à falta de uma seção específica, pois a constituição da Biologia Molecular, bem como os trabalhos significativos que contribuíram para a sua consolidação, não têm sido descritos nos livros didáticos do Ensino Médio.

Os livros didáticos, em geral, são organizados em seções que contêm as áreas clássicas do conhecimento biológico. Essas unidades estudam forma e função dos seres vivos, bem como sua história natural. Porém, no campo da biologia molecular a integração entre morfologia e fisiologia acabou por fundir seus campos de investigação.

Tem-se, na origem dessa junção uma nova epistemologia biológica que, se não esclarecida e entendida, dificultará a compreensão de seus conceitos constituintes. Assim, podemos compreender que o objetivo da Biologia Molecular é apresentar como a estrutura genômica se expressa na estrutura funcional, que constitui os seres vivos. Desta forma, é preciso que, já no Ensino Médio, apresentem-se discussões que possibilitem compreender o percurso desta área.

No inicio do século XX vários campos de investigação biológica, particularmente a genética, a bioquímica e a fisiologia, bem como outras áreas como a física, convergiram em pesquisas que, até nos dias atuais, buscam explicar a complexidade com que ocorrem os fenômenos biológicos. Jacob afirma que essa articulação de áreas ocorreu, justificando que "não basta mais, por exemplo, estudar por um lado os genes, por outro as reações químicas e por outro os efeitos fisiológicos" (Jacob, 1983, p. 253). Para obter respostas sobre questões do conhecimento biológico, é preciso juntar esforços de várias áreas do conhecimento para estudar fenômenos emergentes que, separadamente, não se conseguiriam interpretar. Os diferentes inícios de capítulos que abordam o material genético em livros didáticos trazem como ponto de partida, a publicação, em 1953, do artigo de Watson e Crick que propõe o modelo da molécula de DNA. Os livros didáticos apresentam, apenas, o trabalho final que resultou no modelo da molécula de DNA tal qual a comunidade cientifica aceita até os dias atuais, ou seja, um modelo construído pela análise de diferentes cientistas e testado para ser apresentado a comunidade é inserido como mera ilustração.

Percebemos que os fatos históricos em que os caminhos, discussões e trabalhos paralelos (que são as características das produções científicas e, consequentemente, da construção de modelos) são deixados de lado, menosprezando a importância das correntes científicas divergentes e os debates ocorridos (Bastos, 1998).

> Podemos definir a ciência como um processo de construção de modelos com distintas capacidades de previsão. Esta definição une os processos (de elaboração de modelos e de utilização dos mesmos como ferramentas do pensamento científico) e os produtos (modelos gerados por tais processos) da ciência. (Justi, 2006, p. 176).

Uma vez que se identifica a construção do modelo como um processo dinâmico da elaboração do conhecimento cientifico para explicar e prever fenômenos o aluno se apropria do caráter coletivo dos processos da ciência.

Nos livros didáticos há uma descaracterização dos processos pelos quais pesquisas significativas para uma determinada ciência

– na verdade, qualquer produção científica – percorrem para chegar as suas conclusões e apontamentos.

De maneira geral, encontramos nos textos didáticos, por exemplo, afirmações como: a descoberta da dupla hélice do DNA ocorreu em 1953, como sendo única do ponto de vista histórico para a compreensão desse modelo. Na produção de textos didáticos, a construção histórica desse modelo – considerado um divisor de águas para a Biologia Molecular – bem como os trabalhos de outros pesquisadores são desconsiderados.

Esse texto sobre o modelo da molécula de DNA não tem a pretensão de apresentar alguma discussão original sobre o processo histórico, mas trazer os principais fatos para que o aluno possa verificar:

1. estágio do desenvolvimento do conhecimento científico no início dos anos 50;
2. Como técnicas de pesquisa ajudam a produzir indicações que facilitam a interpretação de um fenômeno em estudo;
3. papel do modelo para facilitar a compreensão do fenômeno;
4. modelo como base para novas pesquisas;
5. Que a produção do conhecimento científico ocorra por meio de discussões sustentadas por evidências empíricas, ou por conclusões teóricas que sejam consensos entre eles;
6. Que a produção de algum conhecimento novo não é um processo individual, de um gênio recluso em seu laboratório e depende dos trabalhos anteriormente publicados sejam eles considerados bem ou mal sucedidos.

Para que esses objetivos possam ser alcançados de forma significativa na aprendizagem de conceitos científicos o texto elaborado para os alunos procurou mostrar como trabalhos de décadas anteriores bem como contemporâneos às pesquisas de Watson e Crick foram primordiais para que a dupla elaborasse um modelo conceitual do DNA.

A busca por aquilo que seria a vida e de que forma ela se desenvolve, sempre foi de interesse da comunidade científica. Nesse sentido, uma célebre pergunta foi sintetizada pelo físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) em 1944, no livro intitulado *O que é vida?* Ao publicar um livro com essa pergunta, Schrödinger buscou entender de que forma a vida pode ser considerada, e compreendida, como um fenômeno explicável pela ciência. Para o

autor, importantes características sobre como a vida poderia ser concebida, em termos de armazenagem e transmissão de informações biológicas, estaria em uma região específica da célula, o núcleo.

Esse livro influenciou as pesquisas de cientistas que se sentiram compelidos a buscar respostas fundamentadas em razões científicas dos processos dos seres vivos. Watson, em seu livro DNA: o segredo da vida (Watson, 2005) deixa explícita a influência desse livro nos trabalhos de muitos pesquisadores e no seu próprio. Esse livro é também citado por Robert Olby, influenciando as pesquisas sobre o material genético, pois, Schrödinger não aceitava que fenômenos biológicos fossem explicados com termos físicos, incitando a busca por leis próprias para a compreensão desse material e seus fenômenos (Olby, 1974). O ponto de partida foi procurar compreender a estrutura do material presente nesses cromossomos e suas partes componentes, sendo que o modelo do DNA possibilitou conhecer a estrutura (forma) dessa molécula e abriu caminhos para que outras pesquisas estudassem as funções do material genético.

Inicialmente no texto do aluno procuramos caracterizar os trabalhos e conhecimentos já existentes até o inicio da década de 1950 e que tiveram fundamental importância conceitual para que as pesquisas sobre a molécula se desenvolvessem. Os fatos científicos significativos que precedem os estudos sobre o modelo são:

- Miescher identifica o DNA;
- Altaman confirma a natureza ácida da molécula;
- Levine e Jacobs concluíram que o componente básico dos ácidos nucléicos era uma estrutura composta por uma unidade que se constituía numa base nitrogenada ligada a uma pentose, e esta por sua vez, ligada a um fosfato. Esta unidade foi denominada de nucleotídeo;
- Avery, Macleod e McCarty esclarecem as dúvidas sobre a natureza química da molécula de DNA;
- Chargaff apresenta as proporções das bases púricas e pirimídicas na molécula;
- Hershey e Chase em pesquisa com material radioativo concluíram que o material genético era o DNA.

Essas pesquisas devem ser consideradas por serem significativas para todos os pesquisadores que estudavam a estrutura do DNA.

O início dos anos de 1950 foi para a Biologia um momento muito significativo, pois,a corrida para construir um modelo estrutural para a molécula de DNA se intensificou. Watson era um estudante norte americano que foi realizar um pós-doutorado em Copenhague. Ao perceber que seu interesse era pela estrutura da molécula de DNA[1] conseguiu uma transferência para o laboratório de Cambridge, o Cavendish, onde Crick já trabalhava. Lá, os pesquisadores se dedicavam a pesquisas físico-químicas das macromoléculas. Francis, que trabalhava no mesmo laboratório, realizava pesquisas sobre a estrutura da hemoglobina, visando concluir seu doutorado.

Logo os dois perceberam o interesse em comum em estudar a molécula de DNA e começaram a discutir sobre os achados de bioquímicos e físicos. Oficialmente, o objeto de pesquisa de Watson era aprender a técnica de cristalografia e, no caso de Francis, estudar a estrutura da hemoglobina. Contudo, seus reais interesses estavam na especulação teórica sobre a estrutura da molécula de DNA.

Outros dois laboratórios desenvolviam pesquisas com a molécula de DNA, o King's College em Londres onde trabalhavam Rosalind Franklin e Maurice Wilkins e o Caltech, na Califórnia, onde trabalhava Linus Pauling. Esses laboratórios bem como esses pesquisadores e suas pesquisas foram os trabalhos contemporâneos que tiveram maior influência para no trabalho de Watson e Crick.

Watson e Crick entraram em contato com modelos de DNA propostos por Sven Furberg, Bruce Fraser[2] (1924-) e o de Linus

---

[1] Watson estava em um congresso em Nápoles, em 1951, quando assistiu à palestra em que um pesquisador de cristalografia chamado Maurice Wilkins apresentava seus estudos radiográficos feito sobre o DNA. Wilkins trabalhava no *King's College* de Londres.

[2] A análise do DNA, por infravermelho, foi feita por Bruce Fraser e os resultados das imagens mostravam que as bases no DNA estão dispostas perpendicularmente ao eixo da molécula.

Pauling. Sabiam que outros grupos de investigadores também se dedicavam a esta tarefa. Entre eles, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin. Os modelos propostos por Furberg, Fraser e Pauling, as pesquisas de cristalografia de Rosalind e Wilkins deram a Watson e Crick a base de conhecimento para a elaboração do modelo.

Um dos primeiro modelos apresentados sobre a molécula de DNA foi o de Astbury. Nesse trabalho, o autor propõe que o arranjo do DNA deveria ser químico ou geométrico (ou os dois) e também já propunha distâncias e ângulos (que posteriormente foram recalculados) entre os nucleotídeos. Outro ponto importante do trabalho de Astbury é que ele apresenta, no seu modelo, um empilhamento dos nucleotídeos. Os dados de Astburry foram reelaborados por Furberg que apresentou um modelo de DNA em formato helicoidal.

Além desses modelos Watson e Crick[4] também citam o modelo de três cadeias proposto por Fraser. Esse modelo foi apenas citado pelos autores, mas não relatado por ser considerado inconsistente:

> Em seu [Fraser] modelo os fosfatos estão do lado de fora e as bases pelo lado de dentro ligadas por pontes de hidrogênio. Esta estrutura tal como é descrita, não está bem definida, e por essa razão não comentaremos (Watson e Crick, 1953, p. 737).

Entretanto Watson e Crick ainda tinham dúvidas se a ligação das moléculas formava uma estrutura plana ou com ângulo (e qual ângulo) e se a estrutura possuía uma ou mais cadeias e, ainda, como propor uma estrutura que estivesse compatível com os dados já descritos por outros pesquisadores.

É nesse ponto que se deve salientar, para os alunos a importância dos dados de pesquisas de Rosalind, Wilkins, Linus Pauling e Donohue para que Watson e Crick chegassem ao seu modelo de DNA.

Nota-se, pelos modelos de Astbury, Furberg e Fraser e posteriormente pelos de Rosalind, Wilkins e Pauling, o papel funda-

[4] As citações do artigo de Watson e Crick apresentadas nesse texto foram retiradas do livro *A dupla hélice*, escrito por Watson, que apresentada a tradução integral do artigo de 1953.

mental que as pesquisas em cristalografia tiveram na construção dos modelos.

As informações do trabalho de cristalografia de Rosalind contribuíram de forma significativa para Watson e Crick por: demonstrar que a molécula de DNA possuía dois estados; definir os dois estados, bem como sugerir que os grupos fosfatos estavam na parte externa da molécula e que a estrutura helicoidal deveria ter mais de uma cadeia.

Como as imagens de cristalografia e suas interpretações foram primordiais para a construção do modelo de Watson e Crick, ressaltamos que essas imagens não são imagens de simples interpretação. De forma resumida podemos compreender a técnica de Cristalografia por Raio X ou infra-vermelho, segundo Carmelo Giacovazzo, como a análise de imagens feitas de cristais (DNA, proteínas) (Giacovazzo, 2002). Os dados obtidos através de experimentos de difração consistem apenas na intensidade dos feixes difratados, a partir do qual pode-se obter a amplitude de fatores da estrutura. Sendo que, depois de definidas, essas estruturas são organizadas e processadas em uma matriz que possibilita o estabelecimento da posição dos átomos nas moléculas. Atualmente o processo de análise de cristais é feito por computadores, entretanto nas pesquisas realizadas pelos cristalógrafos citados nesse trabalho, as análises e os cálculos eram feitos pelos próprios pesquisadores.

A técnica de cristalografia é utilizada para obter imagens de macromoléculas como proteínas, ácidos nucléicos e carboidratos. Essas imagens possibilitam a elaboração de modelos dessas estruturas, assim,

> Compreender exatamente como um cristalógrafo obtém modelos de moléculas de proteína [ou outra macromolécula] por medidas de difração é essencial para compreender, por completo, como se usa esses modelos. (Rhodes, 1993, p. 8)

A técnica de cristalografia, segundo Rhodes (1993), utiliza:
- Cristais: Em certas circunstâncias muitas substâncias se solidificam e formam cristais, ao entrarem em estado de cristal essas moléculas adotam uma ou poucas orientações formando um cristal tridimensional unido por ligações não covalentes. Essas estruturas representam a menor e mais simples unidade da molécula e

que, por meio da técnica de cristalografia, pode-se obter nuvens de elétrons que circundam essa unidade (o que aparece nas imagens de cristalografia).

- Imagens por raio-X: Para coletar imagens, um cristal é colocado entre uma fonte de raio–X e um detector (um filme de raio-X) como mostra a figura 8. O filme quando revelado exibe pontos – que são os pontos onde os raios incidiram no filme. Esses pontos são chamados de reflexo. São essas as informações que vemos nas imagens de DNA de Rosalind.

A partir dessa imagem, um scanner mede a posição e a intensidade de cada reflexo e transmite essa informação para um computador. A posição de um reflexo pode ser usada para obter a direção na qual um raio foi difratado pelo cristal. A intensidade do reflexo é obtida pela medida da absorção dos pontos no filme dando a medida do raio que sofreu difração.

Olhando para a figura 8 nota-se que apenas um plano da estrutura aparece no filme. Para obter medidas de direção e intensidade de uma estrutura tridimensional como a molécula de DNA,

> O cristalógrafo deve coletar padrões de difração de todas as orientações de um cristal em relação aos raios. O resultado direto de dados de cristalografia é uma lista de intensidades para cada ponto da estrutura tri-dimensional. Esses dados são a matéria bruta para determinar a estrutura das moléculas no cristal (Rhodes, 1993, p. 17).

Os dados são convertidos, por meio de equações matemáticas, e reconstruídos por computadores que tratam os reflexos como ondas e recombinam essas ondas para produzir uma imagem da molécula (ou um mapa de elétron-densidade).

O cristalógrafo interpreta um mapa exibindo-o em um gráfico de computador e construindo um modelo gráfico. Com esse modelo em mãos, o cristalógrafo pode começar a explorar o modelo para buscar pistas sobre seu funcionamento (Rhodes, 1993).

Assim, a foto de cristalografia do DNA feita por Rosalind, e que pode ser encontrada em alguns livros didáticos, não deve ser apresentada como uma foto de simples interpretação. Deve-se discutir com os alunos que essa figura, por meio de cálculos matemáticos, é interpretada e traduzida em um gráfico que possibilita estabelecer a posição de átomos e moléculas da estrutura.

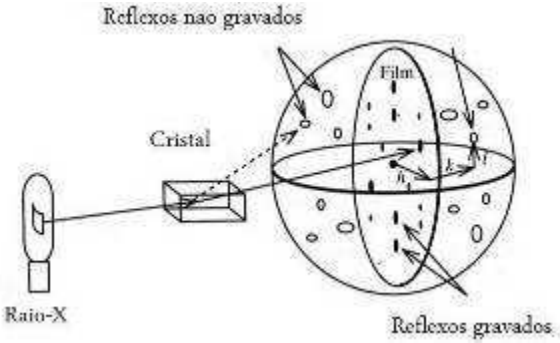



**Figura 8.** Esquema de coleta de imagens pela técnica de cristalografia (Rhodes, 1993, p. 17).

Os outros modelos citados no texto (Furberg, Astbury e Fraser) não foram apresentados no texto do aluno, pois não são modelos estruturais da molécula de DNA e, sim, gráficos com os dados de distâncias e posição das moléculas e, desta forma, ficariam além dos propósitos do conteúdo para alunos do Ensino Médio.

Assim como os trabalhos de Rosalind, outro trabalho paralelo que deu informações essenciais para a elaboração do modelo foi o trabalho de Linus Pauling. Pauling, dentre os pesquisadores citados no trabalho de 1953, foi quem elaborou um modelo estrutural da molécula de DNA. Esse modelo foi tido como consistente por Pauling por dois motivos: pelas distâncias de Van der Waals que foram consideradas satisfatórias e pela presença de forças covalentes. Entretanto esses dados foram considerados não satisfatórios por Watson e Crick, pois, no modelo de tripla-hélice elaborado por Pauling as bases nitrogenadas estariam livres na parte externa, dando ao ácido características básicas, e os fosfatos que, ao ocuparem o interior da molécula, sofreriam a repulsão de suas cargas como explicam Watson e Crick no artigo de 1953:

> A estrutura do acido nucléico já havia sido proposta por Pauling e Corey. Eles gentilmente disponibilizaram seu manuscrito para nós antes da publicação. O modelo deles consiste em três cadeias entrelaçadas, com os fosfatos perto do eixo da fibra e as bases do lado de fora. Em nossa opinião, esta estrutura é insatisfatória por duas razões: nós acreditamos que o material que dá os diagramas dos raios-X é o sal, não o ácido livre. Sem os átomos de hidrogê-

> nio, não está claro qual forças poderiam segurar as estruturas juntas, especialmente as cargas de fosfato negativas que estão perto do eixo e irão repelir-se. Algumas das distâncias Van der Waals aparentam ser muito pequenas (Watson & Crick 1953, p. 737).

O modelo desenvolvido por Pauling, apesar de apresentar inconsistências, tinha informações que foram levadas em consideração por Watson e Crick: que a molécula não teria apenas uma cadeia e que a molécula tinha uma estrutura helicoidal.

Por volta de 1950, já havia muitos autores que trabalhavam com modelos de fibras em forma de hélice, mas foi Linus Pauling quem popularizou entre os cientistas os modelos helicoidais.

Por fim, salientamos ainda que a construção do modelo da molécula de DNA por Watson e Crick foi possível por meio da contribuição de Donohue que apresentou à dupla de cientistas as formas estruturais corretas das bases nitrogenadas (Olby, 1974). "Devemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos e críticas, em especial no que diz respeito às distâncias interatômicas" (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Ao comentarem sobre o modelo proposto, no início de seu artigo, Watson e Crick, ressaltaram: "Desejamos propor uma estrutura radicalmente diferente para o sal do ácido desoxirribonucléico. Essa estrutura possui duas cadeias helicoidais enroladas em volta do mesmo eixo" (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Por meio de um processo de buscas por informações, contestações de dados de outras pesquisas, elaboração de hipóteses, discussões e argumentações e depois de terem construído um modelo concreto, de metal, para apresentarem os dados para outros pesquisadores, Watson e Crick chegaram à descrição do modelo de molécula de DNA:

> Ao longo de cada cadeia encontra-se um resíduo cada 3,4 Å, na direção Z. Pensamos num ângulo de 36° entre os resíduos adjacentes sobre a mesma cadeia, de maneira que a estrutura é repetitiva depois de 10 resíduos, isto é, depois de 34 Å. [...] A característica inovadora da estrutura é a maneira segundo a qual as duas cadeias estão unidas pelas bases de purinas e pirimidinas. Os planos das bases são perpendiculares ao eixo da fibra. Elas estão ligadas duas a duas, a base de uma cadeia unida por uma ligação de hidrogênio a uma base da outra cadeia, de forma que as duas este-

jam lado a lado com coordenadas Z idênticas (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Assim, ao apresentar a construção de um modelo aceito pela ciência, pode-se caracterizar o contínuo da construção do conhecimento científico, valorizando seus principais personagens – chamamos de principais pelo fato de serem reconhecidos não só pela comunidade científica como Watson, Crick e Wilkins, mas, também, por serem mais conhecidos devido a terem recebido o premio Nobel – e, principalmente, valorizando a participação de pesquisadores menos conhecidos pelos alunos, mas de importância fundamental no desenvolvimento de todo conhecimento cientifico.

## 4 MAS COMO TRABALHAR DIDATICAMENTE COM O TEXTO SUGERIDO?

Pensamos que o professor poderá:

1. Primeiramente, levantar as concepções dos alunos sobre como os cientistas trabalham. Provavelmente vão surgir idéias estereotipadas sobre o cientista, de avental branco, em um laboratório, o caráter solitário de seu trabalho, em busca do conhecimento, e acima de qualquer sentimento que não seja bom;
2. Realizar, então, o estudo do texto, procurando elucidar conceitos que os alunos não conhecem e garantindo a compreensão das articulações que o texto propõe;
3. Solicitar que os alunos levantem questões sobre o texto e garantir uma discussão clara sobre o mesmo;
4. Elaborar um roteiro para que os alunos possam fazer uma descrição do trabalho de pesquisa desenvolvido. Por exemplo: A) Quais eram os modelos sobre a molécula de DNA que os pesquisadores dispunham até 1953? B) Quais eram os problemas que esses modelos apresentavam para terem sido considerados insatisfatórios pela comunidade cientifica da época? C) Em que o modelo de Watson e Crick avançou em relação aos anteriores? D) Quais foram os resultados obtidos por outros pesquisadores que foram fundamentais para o estudo teórico de Watson e Crick? E) Qual foi a importância do modelo para a continuidade das pesquisas?
5. Propor aos alunos que expressem suas considerações sobre o potencial heurístico do modelo;

6. Por fim, sugerimos que as questões apresentadas pelos alunos sirvam de continuidade para outras seqüências didáticas que o professor elaborar.

A inserção de um texto que aborde didaticamente a história de um tema exemplifica um trabalho interdisciplinar, ainda que, nesse caso, não tenha sido intencional dos cientistas. É possível verificar que Watson e Crick recorreram a várias áreas do conhecimento para resolver o problema que se propuseram a solucionar.

Outro ponto que queremos ressaltar, neste artigo, é a importância que o papel da história da ciência tem para o ensino. Isso possibilita aos alunos compreender que o processo de construção do conhecimento científico ocorre por meio de discussões entre cientistas, além de perceber qual o papel que diferentes linhas e áreas de pesquisa têm no desenvolvimento científico. Propicia também a percepção do caráter dinâmico da ciência, ou seja, da ciência como algo questionável, possível de mudar seus paradigmas, de seguir mais de um caminho. A inserção da história da ciência possibilita uma melhor compreensão dos conceitos e métodos científicos, supera o cientificismo e o dogmatismo que são encontrados em textos de ciências e possibilita a compreensão da natureza da ciência (Mathews, 1994).

Como salientamos anteriormente, a utilização de um modelo é um recurso para a compreensão de determinado fenômeno biológico. As pesquisas sobre ensino de ciências indicam que, freqüentemente, os alunos apreendem o modelo, mas não conseguem fazer a devida interpretação do fenômeno. O professor precisa assegurar, por meio de avaliações constantes, se realmente o modelo auxiliou a transposição didática para o ensino e a aprendizagem em questão.

Desta forma, com objetivos didáticos, procuramos apresentar os acontecimentos históricos, bem como as discussões teóricas e os trabalhos de pesquisa que contribuíram para que Watson e Crick propusessem o modelo da Dupla Hélice do DNA. E também por meio desse texto, contextualizar a natureza do conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AVERY, Oswald Theodore; MACLEOD, Colin Munro; MCCARTY, Maclyn. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *The Journal of Experimental Medicine* **98**: 137-158, 1944.

BASTOS, Fernando. História da ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. Pp. 43-52, *in*: NARDI, Roberto (org). *Questões atuais em ensino de ciências*. São Paulo: Escrituras, 1998.

FRANKLIN, Rosalind E.; GOSLING, Raymond G. Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate *Nature* **171** (April, 25): 740, 1953.

FURBERG, Sven. On the structure of nucleic acids. *Acta Chemica Scandinavica* **6**: 634-640, 1952.

GIACOVAZZO, Carmelo. *Fundamentals of Crystallography*, 2 ed. New York: IUCr / Oxford Science Publication, 2002.

GRECA, Ileana María; MOREIRA, Marco Antonio. Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education* **22** (1): 1-11, 2000.

JACOB, François. *A lógica da vida*: uma história da hereditariedade. Trad. de Ângela Loureiro de Souza. Rio de Janeiro: Graal, 1983.

JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada em la elaboración de modelos. *Enseñanza de läs Ciências* **24** (2): 173-184, 2006.

MATHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. London: Routledge, 1994.

OLBY, Robert. *The path to the double helix*: *the discovery of the DNA*. Seattle: University of Washington Press, 1974.

RHODES, Gales. *Crystallography made crystal clear: a guide for users of macromolecular models*. London: Academic Press, 1993.

SILVA, Marcos Rodrigues da. Rosalind Franklin e seu papel na construção do modela da dupla-hélice do DNA. Pp. 297-310, *in*: MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; PRESTES, Maria Elice Brzezinski; STEFANO, Waldir; Martins, Roberto de Andrade (orgs) *Filosofia e história da Biologia 2*. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa – MackPesquisa; Livraria da física, 2007.

WATSON, James Dewey. *A dupla hélice*. Trad. Rui Pedro Alves Zambujal. 3. ed. Lisboa: Gradiva, 2003.

——— *DNA: o segredo da vida*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

WATSON, James Dewey; CRICK, Francis Harry Compton. Molecular structure of nucleic acids: A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature* **171**: 737-738, 1953.

WILKINS, Maurice Hugh Frederick; STOKES, Alex R.; WILSON, Herbert R. Molecular structure of desoxypentose nucleic acids. *Nature* **171**: 739-740, 1953.

# Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de "ares" e os seres vivos

**Roberto de Andrade Martins** *

**Resumo**: Os livros didáticos costumam mencionar alguns experimentos realizados por Joseph Priestley (1733-1804) na década de 1770 envolvendo combustão, animais e plantas em recipientes fechados. De acordo com algumas obras, Priestley descobriu a fotossíntese, ou a produção de oxigênio pelas plantas e seu papel na respiração. A apresentação didática dos experimentos atribuídos a Priestley não apresenta nenhuma contextualização, não menciona o que ele estava procurando ou testando, e interpreta de forma anacrônica as conclusões tiradas dessas experiências. Além disso, a própria concepção de ciência que está implícita nessas descrições é equivocada. Este artigo apresenta uma versão mais adequada das pesquisas de Priestley e de sua relevância para a compreensão de alguns processos vitais, na época. Este episódio histórico, adequadamente exposto, permite apresentar aos estudantes vários conceitos importantes a respeito da natureza da ciência e da pesquisa, como a íntima relação entre estudos de diversos campos (no caso, entre química, medicina e história natural), as influências de idéias preconcebidas na pesquisa, as dificuldades que surgem ao se tentar compreender fatos novos e inesperados, as diferenças entre as interpretações do próprio Priestley e as aceitas hoje em dia, as contribuições de diversos pesquisadores, bem como o contexto mais amplo em que se situavam os experimentos descritos de forma tão simplista pelos livros didáticos.

**Palavras-chave**: Priestley, Joseph; fotossíntese; respiração; história da biologia; história da química

### Joseph Priestley's studies on different kinds of "air" and living beings

**Abstract**: Textbooks usually mention some experiments performed by Joseph Priestley (1733-1804) in the decade of 1770 involving combustion, animals and plants in closed containers. According to some of those works, Priestley discovered photosynthesis, or the production of oxygen by plants, and its role in respiration. The didactic presentation of the experiments assigned to Priestley does

* Grupo de História e Teoria da Ciência (GHTC), Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Caixa Postal 6059, 13083-970 Campinas, SP. E-mail: Rmartins@ifi.unicamp.br

not describe its context, does not mention what he was looking for or testing, and the interpretation of his findings is anachronistic. Moreover, the very conception of science that is implicit in these descriptions is wrong. This article presents a better version of Priestley research and of its relevance to the understanding of some vital processes, in the scientific context of his time. This historical episode, properly presented, may introduce the students to several important concepts about the nature of science and research, such as: the intimate relationship between studies of various fields (in this case, chemistry, medicine and natural history); the influence of preconceived ideas in research; the difficulties that arise when trying to understand new and unexpected facts; the differences between the old interpretations of Priestley's work and the ideas accepted today; the contributions of several researchers; and the broader context in which were developed the experiments described so simplistically by textbooks.
**Keywords**: Priestley, Joseph; respiration; photosynthesis; history of biology; history of chemistry

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste texto é explicar alguns dos passos que levaram à descoberta da fotossíntese. De forma simplificada, podemos dizer que a fotossíntese é um processo pelo qual as folhas das plantas (principalmente através da clorofila), sob influência da luz, absorvem gás carbônico e o utilizam, juntamente com a água, para produzir açúcares e outras substâncias essenciais à vida dos vegetais, liberando oxigênio. Nada disso era conhecido há 250 anos. Como se chegou a esse conhecimento?

Muitos livros didáticos de biologia indicam que foi Joseph Priestley quem, no final do século XVIII, observou que a colocação de uma planta em um recipiente fechado modificava o ar em seu interior, possibilitando manter um animal vivo no seu interior por um longo tempo. Mas o que, exatamente, Priestley fez, e por qual motivo? Ele realmente descobriu a fotossíntese, como se costuma afirmar? Analisando-se de forma mais cuidadosa o trabalho de Priestley, veremos que ele estava muito longe de uma compreensão da fotossíntese. Suas concepções químicas eram completamente diferentes das nossas, e suas idéias sobre o que estava acontecendo nos seus experimentos também tinham pouca semelhança com nossas interpretações atuais.

Para compreender o trabalho de Priestley é necessário recuar bastante no tempo e estudar as teorias e os experimentos que haviam sido feitos antes a respeito da natureza do ar e da respiração. Da Antigüidade até o início do século XVIII, acreditava-se

que o ar era uma substância simples, não existindo sequer o conceito de gases qualitativamente diferentes. Não se conheciam o oxigênio, o nitrogênio, o hidrogênio ou o gás carbônico. Não se sabia o que ocorria na queima de substâncias, nem por qual motivo uma vela se apagava quando mantida em um recipiente fechado. Não existia o conhecimento sobre a química da respiração. Não se sabia que as plantas contribuíam para a transformação do gás carbônico e liberação do oxigênio.

Foi durante a segunda metade do século XVIII que ocorreu um grande desenvolvimento do conhecimento sobre os gases, suas diferenças e propriedades químicas, e suas relações com os seres vivos. Um dos personagens importantes dessa história foi Joseph Priestley, que não era químico nem biólogo – era um pastor protestante, com amplos interesses culturais, educacionais e científicos. No entanto, não foi Priestley sozinho quem descobriu tudo sobre o assunto. Antes dele, outros pesquisadores iniciaram o estudo dos diversos gases e também tentaram esclarecer a natureza da combustão e da respiração. Na sua própria época e depois dele, outros investigadores deram também importantes contribuições para a compreensão dos gases e das suas relações com os seres vivos.

Além disso, muitas das idéias aceitas por Priestley foram depois rejeitadas pela ciência. Isso é o que geralmente no desenvolvimento científico. Ninguém consegue dar, sozinho, uma enorme contribuição à ciência. Embora só seja possível aqui citar alguns dos autores que trataram sobre esses assuntos, houve em cada época um enorme número de autores que escreveram sobre cada um desses temas. A construção do conhecimento é um processo coletivo e lento, com idas e vindas, e muitas coisas que pareciam claras e seguras são rejeitadas, depois.

Veremos também que é muito difícil separar diversas áreas do conhecimento como física, química, medicina e biologia, em estudos como esses. É necessário também compreender que os conceitos utilizados pelos pesquisadores da época são diferentes dos nossos; e que o próprio Priestley jamais afirmaria que ele descobriu o oxigênio e a fotossíntese. Trata-se, assim, de uma história muito rica e complexa, que não podemos estudar aqui em todos os detalhes, mas que vale a pena conhecer. Na próxima seção, apresentaremos uma versão simples e didática (porém razoavel-

mente correta) dessa história. No restante do artigo, apresentaremos uma versão mais longa; e, ao final, alguns comentários e sugestões para os professores.

## 2 UMA VERSÃO CURTA DA HISTÓRIA

Joseph Priestley (1733-1804) foi uma das pessoas que contribuiu muito para nossa compreensão sobre a fotossíntese e a respiração. Ele não era biólogo, e sim um pastor protestante e educador, que se interessava por pesquisas científicas como se fosse um passatempo – embora fosse uma atividade que levava muito a sério. Priestley se dedicou inicialmente a pesquisas sobre física (eletricidade e óptica), e começou a se interessar pelo estudo dos gases quase por acaso.

**Figura 1**. Joseph Priestley (1733-1804).

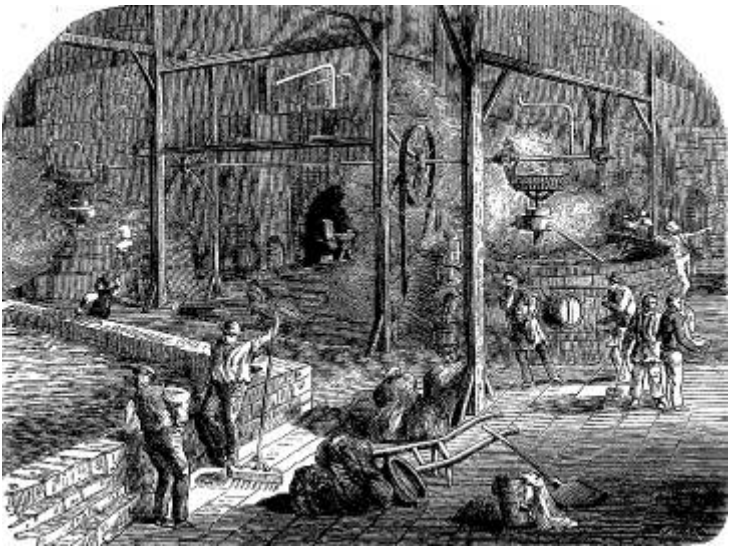


**Figura 2**. Uma cervejaria de Londres, no século XVIII. Nos grandes tanques era colocada água com cevada maltada e lúpulo, que fermentava (produzindo álcool) e desprendia o gás que atualmente chamamos de dióxido de carbono, e que na época era chamado de "ar fixo".

Em 1771 ele morava ao lado de uma cervejaria, e começou a observar o gás que se desprendia durante a fermentação da cerveja. Atualmente nós o chamamos de *dióxido de carbono*, mas na época não existia esse nome, nem a compreensão exata de sua natureza. Era chamado de "ar fixo". Era uma substância parecida com o ar, porém mais densa, pois em vez de subir, ficava dentro dos recipientes de fermentação, ou descia por suas bordas até o chão. Ela já havia sido estudada antes por outras pessoas, como o químico Joseph Black, mas Priestley se interessou muito por esse tipo de "ar" e começou a fazer experimentos com ele.

Colocando-se água perto dos recipientes de fermentação, a água absorvia esse "ar" e adquiria um sabor levemente ácido, como algumas águas minerais que eram conhecidas na época. Priestley se interessou muito por esse fenômeno e verificou que colocando água e "ar fixo" em um vidro e agitando o recipiente, o gás era facilmente absorvido e produzia esse sabor. Desenvolveu então um método para produzir artificialmente esse tipo de água mineral gaseificada, e publicou um folheto sobre essa técnica, que fez

muito sucesso. Mais de um século depois, esse seria o ponto de partida para a invenção dos refrigerantes...

Quando se colocava uma vela ou qualquer outro objeto pegando fogo dentro desse "ar" que sai da cerveja em fermentação, a chama se apagava imediatamente. Sabia-se também que animais mantidos dentro dessa atmosfera diferente podiam morrer em pouco tempo. Primeiramente Priestley manteve um gato dentro do "ar fixo" até que ele morresse sufocado, e examinou depois seus pulmões para tentar compreender por que ele havia morrido. Como nem a natureza desse gás nem o próprio processo de respiração eram compreendidos, ele não podia chegar à explicação que aceitamos atualmente. Concluiu que o "ar fixo" produzia a coagulação do sangue e que era isso que matava o animal. Passou então a fazer experimentos com muitos animais, incluindo insetos, lesmas e sapos, procurando verificar quais resistiam mais tempo e tentando entender o que acontecia[1].

Priestley fez também experimentos com vegetais. Pegou um ramo de hortelã – que é capaz de crescer diretamente na água, sem terra – e o colocou na superfície da cerveja em fermentação, e depois de um dia notou que havia morrido. Percebeu também que algumas flores coloridas, colocadas na atmosfera alterada pela fermentação, mudavam de cor.

O pastor fez também muitos experimentos químicos, verificando que podia produzir o "ar fixo" com o uso de diversas reações – como também já havia sido verificado antes, por outros pesquisadores. Todas as reações que produziam ou absorviam essa substância eram interpretadas, na época, de um modo diferente do nosso, porque se aceitava a "teoria do flogisto", que é completamente diferente da química atual. Em cada época, os pesquisadores pensam de modos diferentes, e têm muita dificuldade em alterar suas teorias.

---

[1] **Observação importante**. Estes e outros experimentos descritos neste texto não devem ser repetidos em casa ou na escola. Não se deve matar ou fazer animais sofrerem apenas por curiosidade; e além disso esses experimentos podem ser perigosos para a própria pessoa que os está realizando.

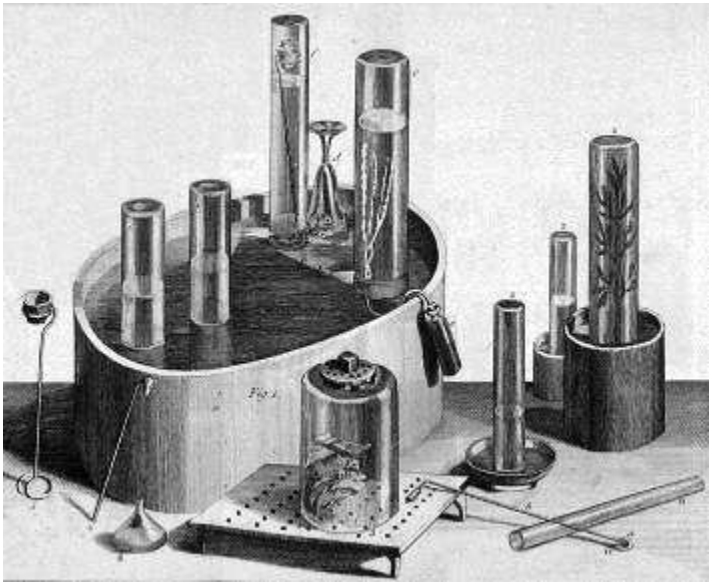


**Figura 3**. Alguns dos dispositivos utilizados por Priestley em seus experimentos com plantas, animais e os diferentes tipos de "ar".

Priestley estudou mais detalhadamente os efeitos de queima e da respiração de animais no ar comum, para tentar entender o efeito do "ar fixo". Notou que quando um animal era mantido em um recipiente fechado até morrer, havia uma redução da quantidade de ar – este diminuía aproximadamente 20%. Quando queimava uma vela até ela se apagar, a redução da quantidade de ar era bem menor (apenas cerca de 6%, de acordo com ele). Esse ar passava a conter certa quantidade de "ar fixo", que Priestley podia detectar fazendo o ar borbulhar através de uma solução de cal viva (CaO) em água, pois o "ar fixo" ($CO_2$) produzia a deposição de um pó branco semelhante ao calcário ($CaCO_3$). No entanto, Priestley não achava que o "ar fixo" era *produzido* pela combustão e sim que a queima emitia alguma substância fazia com que uma parte do ar se separasse do restante, produzindo o "ar fixo". As idéias que guiavam os experimentos de Priestley eram muito diferentes das concepções químicas, e são difíceis de entender, para nós.

Como tanto a respiração quanto a queima só podiam ser mantidas por pouco tempo em um recipiente fechado, e ambas produ-

ziam "ar fixo", Priestley imaginou que um animal não poderia viver no ar onde tivessem sido queimadas velas até se apagarem. Para sua surpresa, viu que eles viviam sim, quase tanto tempo quando se não tivesse ocorrido a queima antes. Sabemos atualmente que isso ocorre porque os animais continuam vivos até consumir quase todo o oxigênio do ar; e que a chama da vela se apaga muito antes disso. Mas Priestley não conseguiu explicar a diferença.

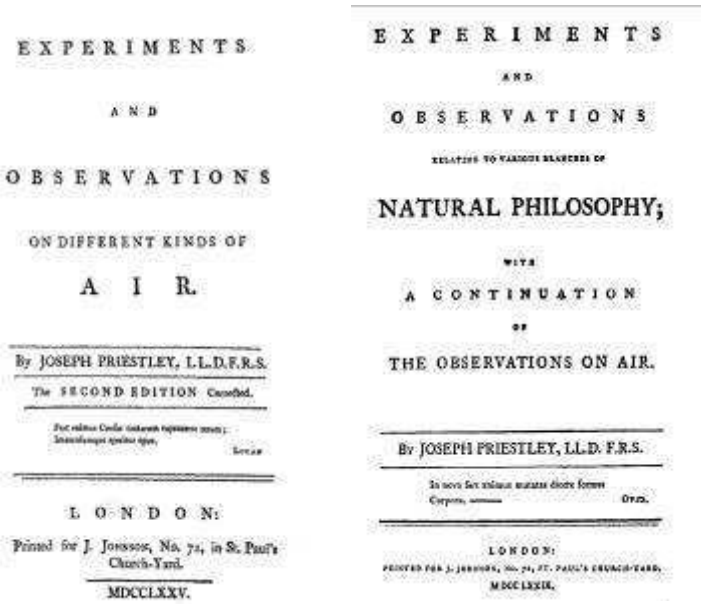
Como já dissemos, Priestley havia feito experimentos colocando um ramo de hortelã sobre a cuba de fermentação de cerveja, e a planta havia morrido. Ele resolveu fazer um outro experimento colocando o ramo flutuando sobre a água, coberto por um jarro de vidro cheio de ar comum. Ele achava que a planta também morreria, como os animais. No entanto, para sua surpresa, o ramo de menta não morreu, e cresceu durante vários meses. Por analogia com o que ocorria com os animais, Priestley esperava que o ar dentro do jarro de vidro estivesse cheio de "ar fixo" e fosse impróprio para a respiração de animais e para manter chamas acesas. Ficou mais surpreso ainda ao ver que uma vela colocada lá dentro ficava acesa, e que um camundongo lá colocado ficava vivo e não parecia sentir nenhum desconforto.

Priestley começou a pensar, então, que as plantas talvez modificassem o ar de uma forma positiva, em vez de prejudicá-lo como a respiração dos animais. Fez então alguns testes importantes.

> De acordo [com essa idéia], no dia 17 de agosto de 1771 eu coloquei um ramo de hortelã em certa quantidade de ar na qual uma vela de cera havia se apagado, e descobri que, no dia 27 do mesmo mês, uma outra vela queimou perfeitamente bem dentro dele. Eu repeti o mesmo experimento no mínimo oito ou dez vezes no resto do verão, sem nenhuma variação dos resultados. Várias vezes eu dividi em duas partes a quantidade de ar na qual a vela havia se apagado, e colocando a planta em uma delas, deixei a outra exposta do mesmo modo, contida também dentro de um recipiente de vidro imerso em água, mas sem nenhuma planta; e nunca deixei de observar que na primeira uma vela conseguia queimar, mas não na segunda. Descobri que em geral eram suficientes cinco ou seis dias para restaurar esse ar, quando a planta estava vigorosa; no entanto mantive esse tipo de ar em recipientes de vidro, imersos em água, durante vários meses, sem ser capaz de perce-

> ber a ocorrência da menor alteração nele. (Priestley, 1772a, p. 168)

Apesar da semelhança entre a extinção de velas e a morte de animais em recipientes fechados, Priestley inicialmente *não pensou* que uma planta pudesse restaurar o ar onde um animal tivesse morrido. Pelo contrário, ele pensou que era uma situação bem diferente e que a respiração dos animais enchia o ar de alguma substância nociva, como ocorre quando uma coisa apodrece. Essa idéia inicial de Priestley estava associada a uma crença da época, a teoria dos *miasmas*, que supunha que as coisas em decomposição desprendiam substâncias malignas – os miasmas – que podiam ser notados pelo cheiro desagradável, e que podiam produzir doenças e matar. Por isso, Priestley tentou restaurar o ar utilizando substâncias que impedem a putrefação, e seus vapores, mas não deu certo.



EXPERIMENTS

AND

OBSERVATIONS

ON DIFFERENT KINDS OF

AIR.

By JOSEPH PRIESTLEY, LL.D.F.R.S.

The SECOND EDITION Corrected.

LONDON:

Printed for J. Johnson, No. 72, in St. Paul's Church-Yard.

MDCCLXXV.

EXPERIMENTS

AND

OBSERVATIONS

NATURAL PHILOSOPHY;

WITH

A CONTINUATION

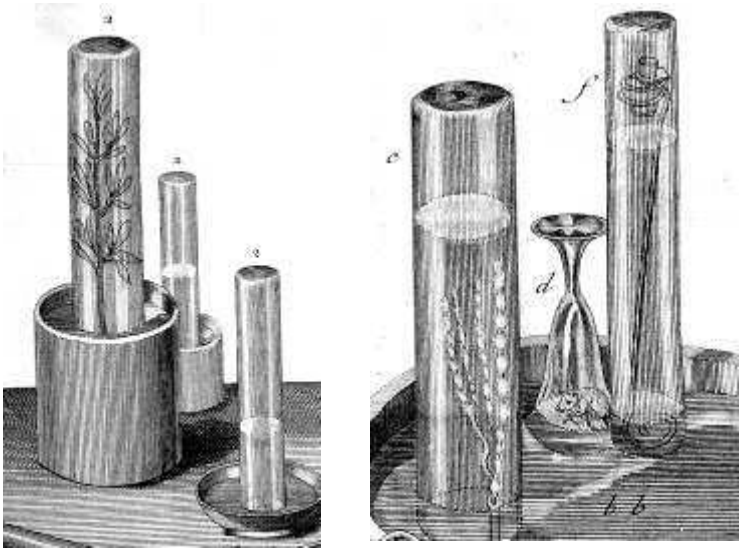
OF

THE OBSERVATIONS ON AIR.

By JOSEPH PRIESTLEY, LL.D. F.R.S.

LONDON:

**Figura 4**. Folhas de rosto de duas das obras em que Priestley apresentou os resultados de seus estudos sobre os diferentes tipos de "ar".



(a) (b)

**Figura 5**. Detalhes dos experimentos de Priestley. (a) Tubos com diferentes tipos de "ar", um deles contendo uma planta. (b) Tubo no qual está sendo introduzido um gás, que borbulha através do líquido; taça invertida, onde está sendo mantido um camundongo, sobre a água; tubo de vidro com uma vela suspensa por um suporte de arame.

Ao fazer experimentos com ar no qual um animal havia apodrecido, Priestley experimentou colocar ramos de menta. Em alguns casos eles ficavam pretos e morriam, mas outros vicejavam e se desenvolviam mais rapidamente do que se estivesse no ar comum. Ele supôs, então, que talvez as plantas produzissem uma recuperação do ar contaminado pela respiração ou putrefação.

> Para determinar isso, eu tomei uma quantidade de ar que havia se tornado completamente nociva por camundongos que haviam respirado e morrido nele, e o dividi em duas partes, uma das quais coloquei em um frasco imerso na água, e no outro (que estava em um jarro de vidro, de pé sobre a água) eu coloquei um ramo de hortelã. Isso foi mais ou menos no início de agosto de 1771, e depois de oito ou nove dias, descobri que um camundongo ficava perfeitamente vivo na parte do ar onde havia crescido o ramo de hortelã, mas morria no instante em que era colocado na outra parte da mesma quantidade original de ar e que eu havia mantido

> exposto da mesma forma, mas sem nenhuma planta crescendo nela.
>
> Eu repeti esse experimento várias vezes, algumas vezes usando ar no qual animais haviam respirado e morrido; algumas vezes usando ar infectado pela putrefação vegetal ou animal, e geralmente tive o mesmo sucesso. (Priestley, 1772a, pp. 193-194)

A conclusão de Priestley foi que as folhas das plantas extraíam do ar o "eflúvio podre", tornando o restante do ar mais adequado para a respiração. Ele não pensou em uma transformação química do ar, nem imaginou que as folhas pudessem estar desprendendo um ar especial (oxigênio).

Algumas repetições do experimento não deram muito certo, nos meses posteriores; mas no ano seguinte Priestley retomou esses estudos e obteve bons resultados. As plantas restauravam o ar que havia sido prejudicado pela respiração ou pela putrefação. Nesses experimentos, o ar era prejudicado em poucos minutos pela respiração do animal, que morria; e depois só era recuperado após manter as plantas lá dentro durante vários dias.

Ao contrário do que afirmam alguns livros didáticos, *não é suficiente* manter uma planta dentro do vidro, com um camundongo, para que ele possa sobreviver indefinidamente. O consumo de oxigênio pelas chamas e pelos animais é rápido, e a produção de oxigênio pelas plantas é muito mais lenta.

Os fatos observados por Priestley eram bastante complexos, e ele tentou interpretar o que havia observado utilizando a melhor teoria da época – a teoria do *flogisto*. Seguindo idéias de autores anteriores, ele imaginou que tanto a respiração quanto a queima de uma vela enchiam o ar de uma certa substância especial, o flogisto; e que o ar só era capaz de armazenar uma certa quantidade dele. Depois que o ar estivesse saturado, não poderia mais receber flogisto, e a respiração e a queima seriam impossíveis. As plantas conseguiriam retirar esse flogisto do ar, produzindo ar deflogisticado, adequado para a respiração e para a combustão. Essa teoria explicava os fatos, embora seja completamente diferente da nossa explicação atual.

Portanto, embora Priestley tenha feito vários experimentos importantes e descoberto vários fatos relacionados com a respiração e a fotossíntese, ele não compreendia esses fenômenos do

modo como os compreendemos hoje e sim de uma forma completamente diferente, que hoje consideramos errada.

Na verdade, para ser possível entender melhor o que Priestley fez e pensou, não basta estudar o que ele escreveu. É preciso conhecer o que houve antes e o que estava acontecendo na época (o contexto histórico), não apenas naquilo que se refere aos fenômenos biológicos mas também em relação à medicina, à física, à química e outros campos. O estudo de Priestley sobre os "ares" e os seres vivos estava inserido em uma pesquisa que atualmente descreveríamos como *interdisciplinar*, envolvendo muitas áreas científicas diferentes. E não se deve pensar que Priestley pensou e fez tudo sozinho, de sua própria cabeça. Suas pesquisas eram a continuação de estudos que já haviam sido feitos por outras pessoas; e depois de Priestley houve vários outros pesquisadores que prosseguiram esses estudos, levando gradualmente à nossa teoria da fotossíntese e mudando completamente a interpretação desses fenômenos.

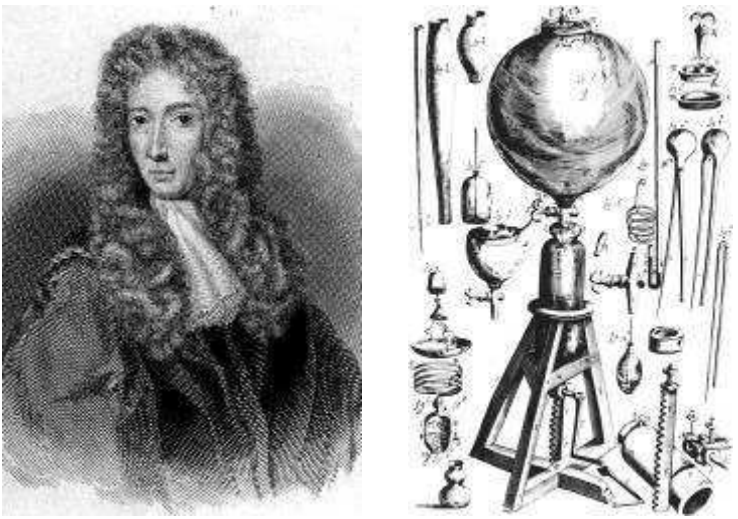


**Figura 6**. Robert Boyle (1627-1691) e uma bomba de vácuo utilizada em seus experimentos. Boyle deu uma importante contribuição ao estudo da respiração e da combustão.

## 3 OS "ARES" E A TEORIA DA RESPIRAÇÃO

Na Antigüidade, Aristóteles defendeu a teoria de que a respiração dos animais era um processo de refrigeração (Martins, 1990). Todos os seres vivos possuem, segundo ele, um calor vital que é responsável pela transformação dos alimentos; e esse calor vital precisa ser mantido dentro de certos limite, pois o animal pode morrer se ficar muito frio ou muito quente (provavelmente Aristóteles pensou a respeito de pessoas com febre). O processo de respiração poderia ser efetuado, segundo ele, pela água (no caso dos peixes e outros seres aquáticos) ou pelo ar (animais com pulmões). Essa concepção foi a mais aceita durante séculos; mas também se sugeriu que a respiração serviria para que o animal liberasse no ar certos "vapores fuligiosos" do seu corpo.

Johannes Baptista van Helmont (1577-1644) chegou a propor o nome "gás" para diferentes tipos de "espíritos selvagens", e notou que os "espíritos" produzidos de diferentes fontes tinham propriedades diferentes (Ramsay, 1896, p. 39). Ele chamou de "gás carbonum" o que é obtido a partir da queima do carvão (o atual monóxido de carbono); de "gás silvestre" o que é produzido na fermentação do vinho e que sai de certas águas minerais (que chamamos de dióxido de carbono); de "gás inflamável" o que sai de matéria orgânica aquecida fortemente (metano); e outro "gás silvestre" era emitido quando alguns metais eram colocados em "água forte" (óxido nitroso).

O pesquisador inglês Robert Boyle (1627-1691) fez muitos estudos sobre o ar e o vácuo, no século XVII (Ramsay, 1896, pp. 10-15). Em sua primeira obra sobre o assunto, publicada em 1660, ele descreveu um experimento no qual colocara uma vela e um camundongo em um recipiente de vidro ligado a uma bomba de vácuo. Quando o ar ia sendo retirado, a vela se apagava e o animal morria, mais ou menos ao mesmo tempo. Isso sugeria que a respiração não tinha por função retirar algo do organismo, mas sim que alguma coisa do ar era essencial para a vida. Era difícil concluir alguma coisa dessa observação isoladamente, mas Boyle fez outros experimentos. Ele verificou que a pólvora podia ser incendiada, dentro de um vidro evacuado, concentrando sobre ela a luz do Sol, através de uma lente. Portanto, não era necessária a presença do ar, para haver fogo.

**Figura 7**. Detalhe do quadro "Experimento com um pássaro na bomba de vácuo" (1768), do pintor Joseph Wright, of Derby (1734-1797). Nos séculos XVII era comum a realização de experimentos em que pequenos animais eram mortos retirando-se o ar do recipiente onde eles estavam. A pintura mostra a indiferença dos adultos e a tristeza das crianças com o sofrimento e a morte do pássaro.

Como a pólvora era fabricada com salitre, carvão e enxofre, Boyle estudou esses componentes. Nenhum deles podia ser in-

cendiado sozinho no vácuo, mas o carvão e o enxofre se queimavam quando eram derramados sobre salitre derretido. Como o salitre não queima no ar, mas o carvão e o enxofre se queimam, Boyle concluiu que o salitre continha a mesma substância que existe no ar e que o torna capaz de sustentar chamas e a vida, dando-lhe o nome de "princípio nitroso".

A pesquisa de Boyle foi seguida logo depois pelos estudos de John Mayow (1643-1679). Ele colocava uma vela ou um camundongo dentro de um jarro de vidro invertido sobre a água, de tal modo a evitar a entrada de ar (Parascandola & Ihde, 1969, p. 353). Depois de algum tempo, a vela se apagava e o camundongo morria. Isso parecia indicar que existia no ar alguma coisa necessária à respiração e à combustão, que era consumida nesses processos.

Mayow sugeriu que a função da respiração não era resfriar o corpo e sim produzir calor. Ele acreditava que uma parte do ar era absorvida e se misturava com as "partículas sulfurosas" do sangue, gerando um tipo de "fermentação" que aquecia o corpo. Em um trabalho publicado em 1674, Mayow chegou à conclusão de que tanto o ar quanto o salitre continham um "espírito nitro-aéreo" capaz de manter a combustão de uma vela e a respiração dos animais (Harris, 1916, p. 443; Ramsay, 1896, pp. 18-21).

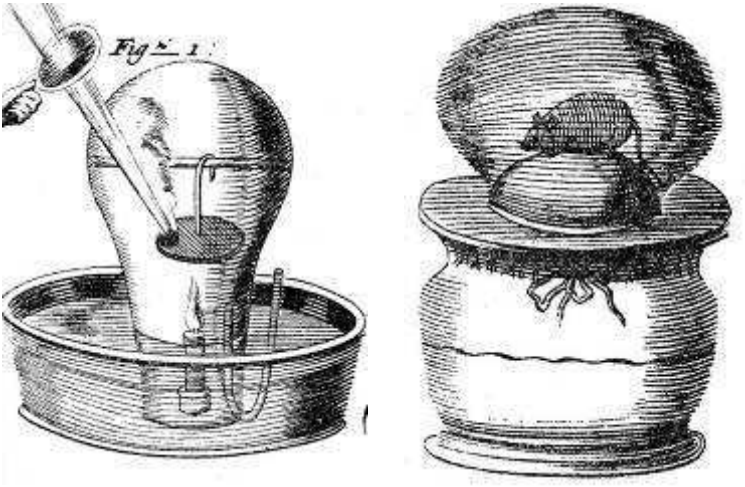



**Figura 8**. Mayow fez experimentos em que estudou a combustão e a respiração de um camundongo em recipientes fechados.

**Figura 9**. John Mayow (1643-1679).

O "ar nitroso" ou "espírito aéreo do fogo" descrito por Mayow tinha várias propriedades importantes: ele estaria contido em todos os ácidos, e seria necessário para a combustão e a respiração – processos que ele considerava análogos. A mesma substância seria responsável pela fermentação e pela transformação do vinho em vinagre, bem como pelos efeitos da calcinação dos metais.

## 4 A TEORIA DO FLOGISTO

Os próprios conceitos de fogo e de combustão estavam sendo discutidos, na época. Na Antigüidade, o fogo era considerado um dos elementos básicos da natureza. No século XVII, Johann Joachim Becher (1635-1682) propôs uma distinção entre o fogo propriamente dito e um princípio material do fogo. Seria, segundo Becher, um tipo de "terra" (ou substância sólida, densa) que ele denominou "terra pinguis" (terra gordurosa), presente em grande quantidade em substâncias combustíveis como os óleos, o enxo-

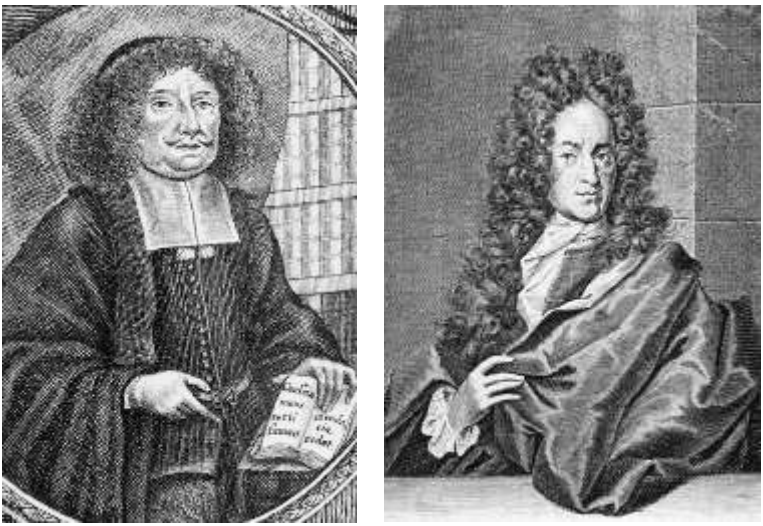
fre, madeira e carvão. Algumas décadas depois, Georg Ernst Stahl (1660-1734) alterou um pouco essa teoria e mudou o nome do princípio material do fogo para "flogisto" – uma palavra derivada do grego *phlox*, que significa fogo, e *phogiston* que significa queimar (Filgueiras, 2006, pp. 52-54). O flogisto poderia existir dentro de vários materiais, sem manifestar as qualidades do fogo (luz, calor). Durante a queima de um material, o flogisto seria liberado para o ar. Segundo essa teoria, o flogisto participaria de várias transformações das substâncias, como a oxidação dos metais e a obtenção de metais a partir de seus óxidos[2]. Quando um óxido metálico é misturado a carvão e queimado, obtém-se o metal[3]. Nesse processo, supunha-se que o flogisto do carvão era absorvido pelo metal. Pelo contrário, quando o metal era calcinado, supunha-se que ele perdia flogisto. Portanto, o metal era o óxido "flogisticado", e o óxido era o metal "deflogisticado".

A teoria explicava que uma vela acesa colocada em um recipiente fechado se apaga da seguinte maneira: à medida que a vela se queima, ela vai liberando flogisto que se acumula no ar. Mas o ar tem uma capacidade limitada de receber flogisto. Assim, quando o ar está saturado de flogisto, a vela não consegue mais se queimar (liberar flogisto) e se apaga. O ar flogisticado também não seria adequado para manter a vida de animais, porque o papel da respiração seria justamente o de remover flogisto do corpo, e isso não seria possível se o ar já estivesse totalmente repleto de flogisto. Dessa forma, a teoria conseguia explicar a relação entre combustão e respiração, e os fenômenos que eram conhecidos se tornavam compreensíveis. Essa teoria teve grande influência durante o século XVIII.

---

[2] Qualquer óxido era chamado, nessa época, de "cal", e o processo de aquecer um metal fortemente no ar era chamado de "calcinação".

[3] A teoria que aceitamos atualmente foi desenvolvida por Antoine Lavoisier, no final do século XVIII e é completamente oposta à teoria do flogisto. Ela explica a oxidação dos metais como devida à absorção de oxigênio do ar; e explica a redução dos óxidos metálicos pelo carvão como sendo devida à combinação do carbono com o oxigênio, formando gás carbônico, deixando o metal livre de oxigênio.



(a) (b)

**Figura 10**. (a) Johann Joachim Becher (1635-1682) e (b) Georg Ernst Stahl (1660-1734)

## 5 OS ESTUDOS DE STEPHEN HALES

Outro pesquisador importante foi Stephen Hales (1677-1761). Hales era um pastor protestante, que acreditava que o estudo das criaturas do mundo poderia levar a ver a perfeição de Deus. Além disso, tinha grande interesse por aplicações práticas da ciência. Publicou estudos importantes sobre a fisiologia das plantas[4] e sobre a circulação do sangue. Realizou também pesquisas importantes sobre a respiração (Harris, 1916).

Hales repetiu muitos experimentos de Boyle e de Mayow a respeito do ar e da respiração. Certos autores acreditavam na época que a respiração das pessoas e animais liberava na atmosfera

[4] A principal obra de Hales, publicada em 1733, chamava-se "Statical essays". No seu primeiro volume, chamado *Vegetable statics*, Hales estudou o movimento da seiva nas plantas e a transpiração das folhas. Seu livro descreve 124 experimentos e contém desenhos detalhados de seus estudos.

alguma substância nociva, e que por esse motivo não era possível sobreviver um tempo muito longo em um local fechado. Hales investigou se a respiração de pessoas saudáveis também tornava o ar impróprio para a vida, e concluiu que sim, ou seja, que há alguma mudança do ar durante a respiração, independentemente do estado de saúde.

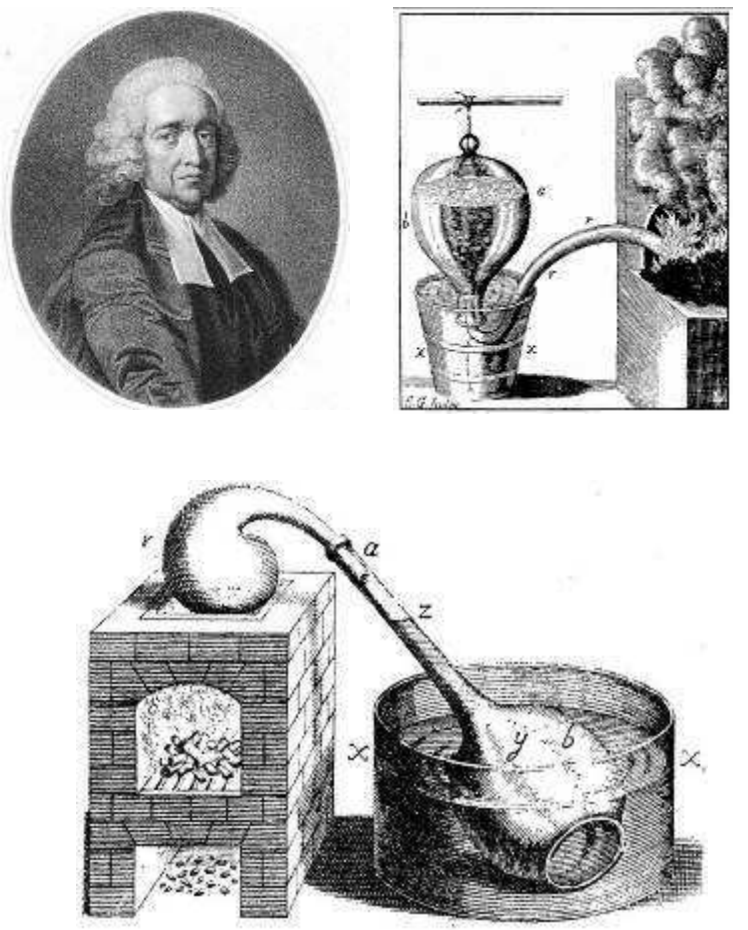



**Figura 11**. Stephen Hales (1677-1761) e alguns de seus dispositivos para coletar e estudar "ares".

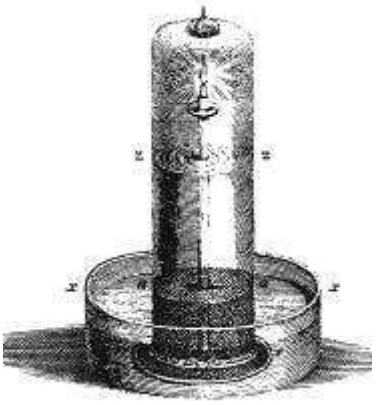


**Figura 12**. Experimento de Stephen Hales, colocando uma vela acesa dentro de um tubo de vidro fechado, para observar as mudanças que ocorrem no ar por causa da queima. O engenhoso dispositivo empregado por Hales nessa experiência é um tipo de *cuba pneumática*, que mantém os gases isolados do ar externo utilizando líquidos (nesse caso, água).

Hales aqueceu um grande número de substâncias para coletar o "ar" que saía delas, e obteve gases inflamáveis aquecendo substâncias vegetais. Notou também que o "ar" que saía de substâncias efervescentes (como calcáreo reagindo com ácido) apagava a chama. Em seus estudos sobre a produção de "ar" a partir de várias substâncias, Hales desenvolveu vários aparelhos úteis para coletar, medir e transportar gases, como a "cuba pneumática" (Parascandola & Ihde, 1969, pp. 353-356).

Destilando madeira, Hales obteve um ar que era fatal para animais. Destilando carvão, obteve um "ar" inflamável. Hales acreditava que os vários tipos de "ar" podiam existir combinados com outras substâncias, em sólidos. Ele supôs que o crescimento das plantas utilizava a fixação de ar, e esse foi um dos motivos pelos quais ele fez experimentos de aquecimento de plantas em retortas, para tentar recuperar o "ar" que elas tinham absorvido (Ramsay, 1896, p. 30). Embora tenha lidado com um grande número de gases diferentes, ele não lhes deu nomes especiais, não os identificou e nem percebeu serem substâncias completamente diferentes umas das outras.

Quando se respira por longo tempo um mesmo ar, a pessoa sente dificuldade de respirar e um sentimento de opressão. Hales atribuiu isso aos "vapores grosseiros e sulfurosos" que passavam dos pulmões para o ar. De acordo com seus estudos, um galão de ar se tornava impróprio para a respiração humana depois de um minuto. Procurou por isso descobrir alguma substância que pu-

desse absorver esses "vapores grosseiros" e purificar o ar, fazendo com que ele ficasse novamente adequado para ser respirado. Hales afirmou que era possível respirar por mais tempo em um local fechado, sem renovação de ar, se a pessoa respirasse através de um pano molhado com vinagre, água salgada ou algumas outras substâncias.

Hales ajudou a planejar e instalar grandes ventiladores em navios, hospitais e prisões, para produzir a circulação do ar e melhorar a saúde das pessoas (Harris, 1916, p. 445). Conseguiu, assim, ajudar a reduzir muito a mortalidade nesses ambientes.

## 6 JOSEPH BLACK E O "AR FIXO"

Em meados do século XVIII, o médico Joseph Black (1728-1799) deu um grande passo no reconhecimento da existência de diferentes gases, fazendo um estudo detalhado daquilo que atualmente chamamos de "dióxido de carbono", ou "gás carbônico" ($CO_2$). Sua primeira publicação sobre o assunto é de 1755.

Sabia-se que a magnésia e o calcário, fortemente aquecidos, se transformam em substâncias cáusticas (semelhantes à soda cáustica). Joseph Black mostrou que, durante esse aquecimento, essas substâncias perdem peso e desprendem um "ar" especial, que ele chamou de "ar fixo" porque estava inicialmente preso ou fixado numa substância sólida (Guerlac, 1957, p. 125).

**Figura 13**. Joseph Black (1728-1799) e um grupo de amigos em uma reunião de estudos sobre os novos "ares" descobertos no século XVIII.

Black estudou a "magnésia alba" (que chamamos de carbonato de magnésio) e notou que ela entrava em efervescência com ácidos. Quando era calcinada, transformava-se em um pó branco que já não tinha essa propriedade, e seu peso ficava reduzido a menos da metade. Ele associou essa perda de peso ao "ar" que saía da magnésia (Guerlac, 1957, pp. 433-437).

Da mesma forma ele mostrou que mármore e outras formas de calcário também sofriam mudanças análogas. Quando o calcário ($CaCO_3$, na notação atual) é aquecido fortemente, desprende-se uma grande quantidade de "ar" e ele se transforma em cal viva (CaO, na notação atual), que é uma substância alcalina cáustica, ou seja, que "queima" em contato com a pele. A interpretação usual, na época, era que a cal viva era um composto de calcário com flogisto. Black notou que, quando a cal viva é dissolvida em água e esse "ar" que saiu do calcário borbulha através dessa solução, forma-se uma substância branca que se separa do líquido, e que tem as mesmas propriedades do calcário inicial. Secando-a e aquecendo-a fortemente, ela se torna novamente cal viva, e desprende o mesmo "ar", que ele denominou de "ar fixo". Concluiu que a cal era o resultado do calcário menos o "ar fixo", e não calcário mais flogisto, como se acreditava na época.

Em 1757 Black mostrou que esse mesmo "ar fixo" era emitido pelos pulmões na respiração, na combustão do carvão e também na fermentação da cerveja (Guerlac, 1957, pp. 451-452). Indicou tratar-se da mesma substância que Van Helmont havia chamado de "gás silvestre". Verificou que o ar que havia se tornado impróprio para a respiração e a combustão podia ser restaurado, até certo ponto, expondo-o à água de cal, que absorvia o ar fixo.

Eram bem conhecidas algumas águas minerais com sabor levemente ácido e que desprendiam um "ar" (Eklund, 1976, pp. 531-532). Tobias Bergman (1735-1784) e outros autores mostraram que era o "ar fixo" de Black que saía dessas águas, e mostraram também a possibilidade de produzir águas minerais ácidas artificiais, pela adição desse gás. Além disso, Bergman mostrou que era mais denso do que o ar, e que fazia o papel de tornassol ficar vermelho, indicando sua natureza ácida. Por isso ele o chamou de "ácido aéreo".

A descoberta e o estudo do "ar fixo" foram muito importantes, porque foi o primeiro caso em que se reconheceu claramente

a existência de uma substância semelhante ao ar, mas com propriedades químicas características. Isso abriu as portas para a descoberta e o estudo de outros gases.

## 7 A DESCOBERTA DE NOVOS GASES

Um outro gás que foi bem estudado pouco depois foi aquele que chamamos atualmente de "hidrogênio". Ele já havia sido produzido desde o século XVII por vários pesquisadores, e Boyle o havia obtido pela reação de ferro em pó com ácidos, notando que era inflamável. No entanto, a primeira descrição cuidadosa desse novo "ar" só foi publicada em 1766, por Henry Cavendish (1731-1810), que o chamou de "ar inflamável" (Ramsay, 1896, p. 122). Em 1700 Nicolas Lémery (1645-1715) havia sugerido que o "ar" que é liberado quando alguns metais se dissolvem em ácidos seria seu constituinte combustível. Cavendish também imaginou que o "ar inflamável" era uma substância contida nos metais, que se desprendia sob ação do ácido. Seguindo a teoria de Stahl, Cavendish supôs que esse gás era o próprio flogisto.

O gás que chamamos atualmente de "nitrogênio" foi descoberto em 1772 por um estudante de Black, chamado Daniel Rutherford (1749-1819). Quando se mantinha uma vela acesa ou um animal vivo em um recipiente fechado com ar, o fogo se apagava e o animal morria, e surgia "ar fixo" no recipiente. No entanto, quando se fazia esse ar residual borbulhar em água com cal, apenas uma parte dele era absorvida pelo líquido, e esperava-se que a outra parte, sem o "ar fixo", deveria ser capaz de manter a vida e as chamas, mas não mantinha. Rutherford supôs então que aquele ar residual era de um novo tipo – diferente do ar comum e diferente do "ar fixo". Rutherford chamou essa substância (que agora chamamos de nitrogênio) de "ar nocivo", ou "ar flogisticado" (Ramsay, 1896, pp. 61-67). Essa porção que sobrou do ar foi depois chamada de "azoto" pelos químicos franceses. Para Rutherford e Black, tratava-se de uma transformação do ar comum, que havia absorvido muito flogisto emitido pela vela ou pela respiração do animal e não uma substância nova:

> Pela respiração dos animais, o ar saudável não apenas se torna mefítico[5], mas também sofre outra mudança. Pois, depois que a porção mefítica é absorvida por uma solução cáustica alcalina, a porção que sobra não se torna salubre, e embora não produza precipitado na água de cal, extingue a chama e destrói a vida.

Os diferentes gases logo despertaram o interesse dos médicos, que começaram a administrar ar com maior proporção de oxigênio ou nitrogênio (ou mesmo com a mistura de hidrogênio e outros gases) como remédios.

Foi nessa época que Joseph Priestley começou a desenvolver seus estudos sobre os "ares.

## 8 JOSEPH PRIESTLEY

Vamos inicialmente estudar um pouco a vida de Joseph Priestley[6], pois trata-se de uma pessoa muito diferente da imagem que costuma ser divulgada dos cientistas.

Joseph Priestley (1733-1804) nasceu na Inglaterra, em uma vila perto da cidade de Leeds. Quando era muito pequeno, Priestley foi criado pelos avós e, depois, pelos tios, que eram pessoas ricas. Eram protestantes calvinistas e levavam a religião muito a sério. Eles lhe deram uma boa educação e esperavam que ele se tornasse um pastor. No entanto, durante sua adolescência Priestley começou a ter dúvidas sobre os ensinamentos religiosos e se afastou da igreja calvinista.

Era uma pessoa interessada em se instruir. Aprendeu línguas (grego, latim, hebraico, árabe, francês, italiano, alemão) e estudou matemática, filosofia e física. Aos 19 anos de idade resolveu retomar o estudo teológico, porém em uma linha diferente, a dos

---

[5] A palavra "mefítico" significa fedorento – aquilo que tem cheiro podre, que é fétido, nocivo, pestilento. Na verdade, o gás carbônico não tem cheiro desagradável, mas Rutherford estava misturando às suas observações a teoria, muito aceita na época, de que podem existir no ar certas substâncias – os miasmas – que produzem doenças e peste e que estão associadas aos maus odores.

[6] As principais fontes originais de informação sobre a vida de Priestley são sua autobiografia (Priestley, 1809) e correspondência (Rutt, 1831). Uma descrição geral da vida e da obra de Priestley pode ser encontrada em Schofield, 2007.

"Dissidentes Racionais", que davam importância à análise racional da Bíblia e do mundo natural. Priestley acreditava que tanto as verdades religiosas quanto as leis morais podiam ser provadas cientificamente. Aos 22 anos ele se tornou um pastor.

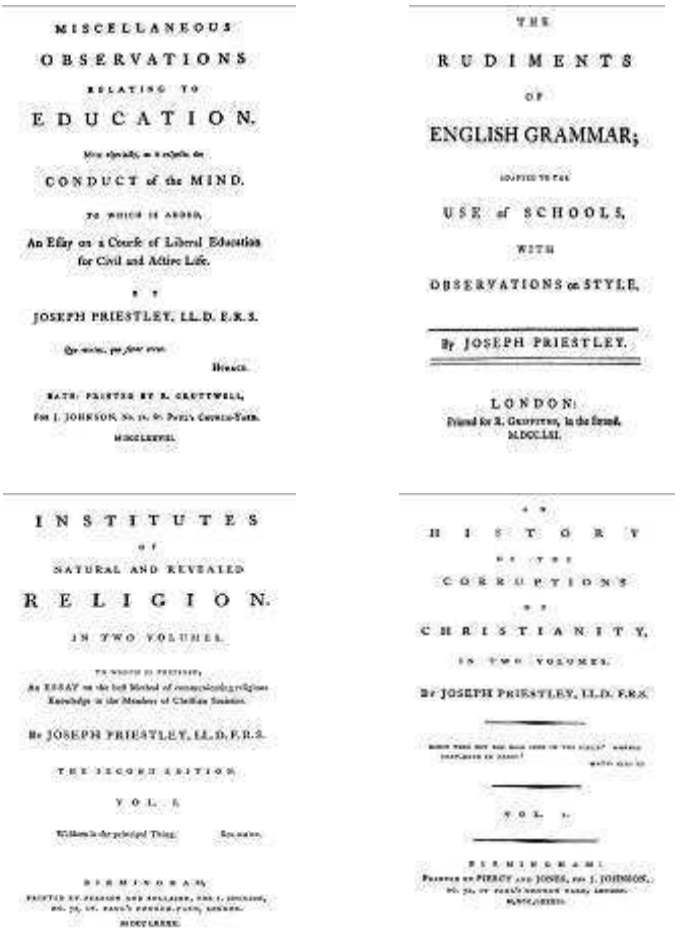

MISCELLANEOUS
OBSERVATIONS
RELATING TO
EDUCATION.
CONDUCT of the MIND.
An Essay on a Course of Liberal Education for Civil and Active Life.
JOSEPH PRIESTLEY, LL.D. F.R.S.
THE
RUDIMENTS
OF
ENGLISH GRAMMAR;
USE of SCHOOLS,
WITH
OBSERVATIONS on STYLE.
By JOSEPH PRIESTLEY.
LONDON:
INSTITUTES
OF
NATURAL AND REVEALED
RELIGION.
IN TWO VOLUMES.
By JOSEPH PRIESTLEY, LL.D. F.R.S.
THE SECOND EDITION
VOL. I.
HISTORY
OF THE
CORRUPTIONS
OF
CHRISTIANITY.
IN TWO VOLUMES.
By JOSEPH PRIESTLEY, LL.D. F.R.S.
VOL. I.

**Figura 14**. Joseph Priestley escreveu muitas obras sobre educação e uma gramática que foi reeditada várias vezes. Publicou também muitos livros sobre religião (que era seu principal interesse), defendendo opiniões pouco comuns.

Tendo completado sua formação, mudou-se em 1755 para uma pequena cidade rural, Needham Market, assumindo uma paróquia. Porém, os fiéis da cidade não gostaram das suas idéias religiosas pouco convencionais. A tia de Priestley deixou de lhe dar apoio, por ter abandonado o calvinismo. Ele acabou se mudando em 1758 para outra cidade, Nantwich, onde foi bem recebido como pastor, e dedicou-se também a uma escola. Escreveu uma gramática inglesa para seus estudantes, e dedicou-se a ensinar-lhes "filosofia natural" (física), comprando instrumentos científicos para suas aulas (Crosland, 1983, p. 226). Esse parece ter sido seu primeiro envolvimento com as ciências experimentais.

Pouco depois, quando tinha 27 anos de idade, foi convidado para tornar-se professor da Warrington Academy, mudando-se para essa cidade em 1761, onde ficou por 5 anos. Nesse período, casou-se, tendo depois 3 filhos. Durante essa fase escreveu livros sobre educação e sobre história, bem como uma compilação de pensamentos dos filósofos de todas as épocas. Ministrou inicialmente aulas de retórica e línguas modernas, depois começou também a lecionar anatomia e "filosofia natural".

Nessa época, uma das áreas da física que estava se desenvolvendo muito era o estudo da eletricidade produzida por atrito. Priestley começou a estudar o assunto e resolve escrever uma obra relatando as descobertas realizadas sobre o assunto – uma "História da eletricidade". Entrou em contato com vários pesquisadores ingleses importantes da época, como John Canton e William Watson, e conheceu também Benjamin Franklin, que estava em Londres (Walker, 1934, p. 83). Começou a repetir muitas experiências sobre os quais havia lido, e logo foi levado a novos experimentos, que também incluiu no seu livro. Para realizar esses estudos experimentais, adquiriu muitos aparelhos, que consumiram uma parte significativa de sua renda. Vários pesquisadores ficaram impressionados com seu trabalho e em 1766, antes mesmo da publicação do seu livro, ele foi indicado para a posição muito honrosa de membro da *Royal Society*.

Em 1767, aos 34 anos de idade, Priestley entrou em conflito com a direção da escola de Warrington e se demitiu. Logo em seguida ele se mudou para Leeds, uma cidade próxima da vila onde havia nascido, assumindo o trabalho em uma paróquia e lá vivendo de 1767 a 1773. Durante esse período escreveu uma im-

portante obra teológica em três volumes, onde defendeu a idéia de que somente deviam ser aceitas as verdades religiosas que estivessem de acordo com os conhecimentos científicos sobre o mundo natural. Apresentava idéias que assustaram a maioria dos seus leitores, como a de que Cristo não era Deus. Defendeu os direitos dos Dissidentes, e entrou em várias controvérsias religiosas.

Por causa do sucesso de sua "História da eletricidade", Priestley resolveu escrever uma nova obra do mesmo tipo, porém sobre óptica. O livro foi publicado em 1772, e não foi bem recebido, e as vendas não foram boas. Priestley havia investido muito dinheiro comprando livros e instrumentos para seus estudos de óptica, e ficou muito decepcionado, abandonando o projeto de escrever outras obras sobre "filosofia experimental" (Crosland, 1983, p. 230).

## 9 OS ESTUDOS DE PRIESTLEY SOBRE "ARES"

No entanto, o gosto de Priestley pela ciência logo o levou a iniciar experimentos de um outro tipo, que não custavam praticamente nada (Crosland, 1983, p. 233): o estudo do "ar fixo" (que havia sido pesquisado por Joseph Black) que era produzido na fermentação da cerveja, em uma cervejaria próxima à sua casa (Priestley, 1772a, p. 148). Durante esse processo, o líquido produz uma grande quantidade de gás, que se acumula até a borda das tinas de fermentação e depois desce e se espalha pelo solo. Colocando-se uma vela nessas regiões, ela se apaga imediatamente; e animais podiam morrer se fossem mantidos dentro dessa atmosfera carregada de "ar fixo". Deixando-se um recipiente cheio de água, aberto, recebendo esse "ar", a água adquiria um gosto levemente ácido e se tornava semelhante a um tipo de água mineral (a "água de Pyrmont") que desprendia "ar" quando era aquecida ou sacudida (Priestley, 1772a, p. 151). Priestley se dedicou então a desenvolver um método prático para produzir essa água mineral artificial (Priestley, 1772b), que foi posteriormente a base de todos os refrigerantes existentes até hoje.

Seguindo as afirmações de alguns médicos da época, Priestley acreditava que essa água gaseificada serviria para prevenir ou curar o escorbuto – uma doença que era muito comum em viagens longas de navio (Priestley, 1772a, p. 152). Atualmente, atribuímos

essa doença à carência de vitamina C dos alimentos utilizados nessas viagens. Portanto, a água com "ar fixo" não previne nem cura escorbuto.

O processo de preparação da água mineral artificial consistia em produzir ar fixo reagindo calcário com "óleo de vitríolo" (ácido sulfúrico), e fazer o gás que se desprende passar por um tubo e borbulhar na água que se quer impregnar, agitando também a água e o gás em um recipiente fechado (Priestley, 1772a, p. 152). O processo demorava de 15 a 20 minutos, segundo Priestley, e podia ser aplicado a qualquer quantidade de água que a pessoa conseguisse sacudir.

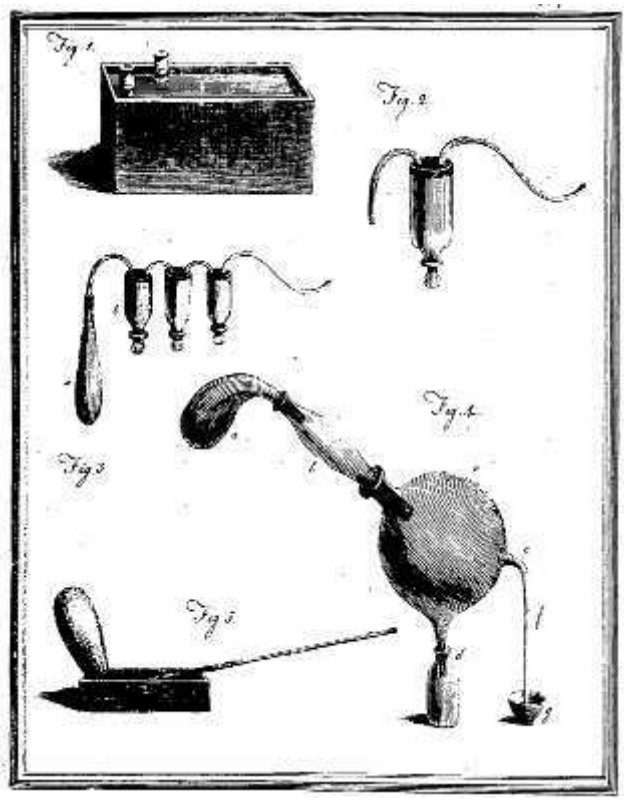


**Figura 15**. Alguns aparelhos utilizados por Priestley em seus estudos sobre "ares". Na época eram utilizadas bexigas de porco (não existiam bexigas de borracha) para coletar esses gases.

Priestley comentou que pó de ferro colocado na água assim preparada se dissolvia, e que a bebida resultante era agradável e boa para o estômago. Também indicou que era possível adicionar "ar fixo" ao vinho e à cerveja pelo mesmo processo (Priestley, 1772a, p. 154). O processo de produção da água mineral artificial, bem como de sua utilidade médica, foi publicado em um folheto em 1772.

No final de 1772, William Petty-FitzMaurice, duque de Shelburne, convidou Priestley para trabalhar como tutor de seus filhos e como seu bibliotecário e assistente geral. Priestley acabou aceitando, por motivos financeiros, e trabalhou com Lord Shelburne de 1773 a 1780. Durante esse período, ele tinha muito tempo livre que utilizou para escrever livros (especialmente sobre filosofia) e realizar pesquisas sobre diversos gases. Nessa época ele também ajudou seu amigo Theophilus Lindsey a criar uma nova seita protestante, a dos "Unitários", e defendeu essa nova igreja em livros e panfletos.

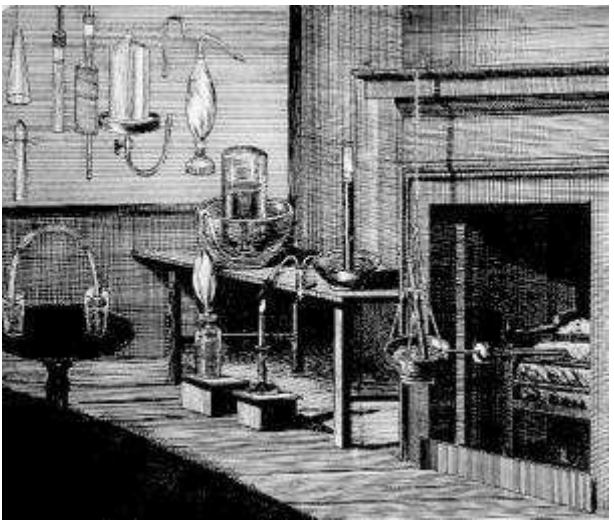


**Figura 16**. Sala de experimentos da casa de Prietley, onde ele realizou seus estudos sobre os diferentes tipos de "ar".

Foi durante essa fase que Priestley desenvolveu suas mais importantes contribuições científicas, os seus estudos sobre diferentes tipos de "ar" – um campo de estudos que depois passou a ser chamado de "química pneumática".

Priestley se entusiasmou com esse tipo de estudo experimental, desenvolvendo aparelhos para coletar e examinar os diferentes tipos de "ar" que produzia. A "cuba pneumática" era um recipiente cheio de água, dentro do qual havia um suporte com furos onde eram encaixados cilindros de vidro, cheios também de água, de cabeça para baixo. Eles eram usado para coletar gases, que eram introduzidos através de tubos. Posteriormente, notando que alguns dos "ares" que estava estudando eram absorvidos pela água, passou a utilizar um aparelho com mercúrio, em vez de água.

Ele publicou seus trabalhos sob a forma de vários artigos e, depois, em uma obra com seis partes. Na primeira delas, publicada em 1774, ele apresentou vários tipos de "ar" que havia estudado: o "ar nitroso" (óxido nítrico, NO), "vapor de espírito de sal" (ácido hidroclórico anidro, HCl), "ar alcalino" (amônia, NH3), "ar nitroso deflogisticado" (óxido nitroso, N2O) e "ar deflogisticado" (oxigênio). Apresentou também nessa obra seus experimentos sobre os efeitos das plantas na renovação do ar.

## 10 OS VEGETAIS E O "AR FIXO"

Priestley conhecia os estudos de Black sobre o "ar fixo" e sabia que tanto a combustão quanto a respiração de animais causavam uma deterioração do ar. Resolveu então testar o que aconteceria colocando vegetais em um recipiente fechado.

> Poder-se-ia imaginar que, como o ar comum é necessário igualmente para a vida animal e para a vegetal, que tanto plantas quanto animais seriam afetadas da mesma maneira; e confesso que tinha essa expectativa quando coloquei pela primeira vez um ramo de menta dentro de uma jarra de vidro, invertida sobre um recipiente de água; mas depois que ela cresceu lá durante meses, descobri que o ar nem extinguia uma vela, nem produzia qualquer inconveniente em um camundongo que coloquei lá. (Priestley, 1772a, pp. 166-167)

Percebendo que o ar não era prejudicado pelo crescimento da planta, Priestley pensou que talvez o processo de vegetação pu-

desse restaurar o ar prejudicado pela combustão. Assim, no dia 17 de agosto de 1777 ele colocou um ramo de hortelã em um recipiente com ar no qual uma vela havia queimado até se apagar (Priestley, 1772a, p. 168). Dez dias depois, acendeu uma vela nesse ar[7] e ela queimou normalmente. Descobriu que não apenas as plantas permaneciam vivas, mas que também restauravam as qualidades de pureza do ar. Em outro experimento, repetiu o teste deixando um recipiente com o ar queimado sem o ramo de hortelã e outro recipiente com o ramo de hortelã, e apenas no segundo caso houve recuperação da capacidade do ar de alimentar a combustão da vela.

O pesquisador imaginou que talvez a recuperação do ar fosse devida ao uso de uma planta aromática (hortelã), mas depois testou outras plantas, e verificou que o efeito era independente da existência de qualquer aroma (Priestley, 1772a, pp. 169-170)[8]. Notou também que era necessário que a planta estivesse viva e crescendo, para que conseguisse purificar o ar: arrancando folhas e colocando-as no recipiente de vidro, elas não produziam o mesmo efeito. Indicou também que era necessário retirar as folhas mortas e velhas, para evitar que sua putrefação prejudicasse o ar. Apontou também os poderes nocivos de algumas plantas, especialmente o repolho – relatou que deixando uma folha de repolho em um jarro de vidro cheio de ar durante uma única noite, no dia seguinte uma vela não ficava acesa nesse ar.

A partir desses experimentos Priestley concluiu que o ar nocivo produzido pela combustão e pela respiração contribuía para a nutrição das plantas; e que a pureza da atmosfera dependia, em grande parte, das funções de crescimento dos vegetais.

---

[7] Como Priestley conseguia acender uma vela em um recipiente fechado? Ele conseguia fazer isso focalizando no pavio da vela um feixe de luz do Sol, com o uso de um espelho côncavo (posteriormente, com uma lente).

[8] Na época, a teoria dos miasmas associava o surgimento de muitas doenças a cheiros ruins (Martins, 1997, pp. 87-91, 109-112; Martins & Martins, 2006); e muitas vezes se recomendava o uso de substâncias aromáticas para combater os miasmas, evitando doenças. Priestley deve ter inicialmente associado essa teoria à descoberta de que o ramo de hortelã eliminava os efeitos nocivos do ar que havia sido prejudicado pela respiração ou pela combustão.

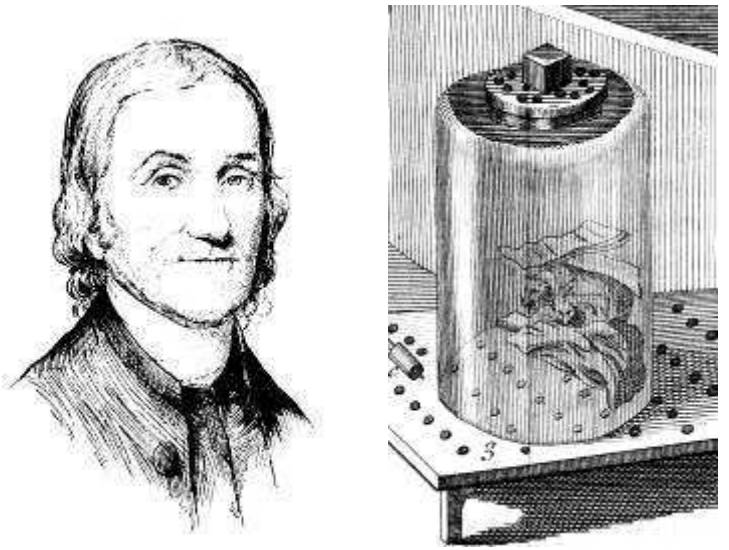


**Figura 17**. Priestley fez experimentos com vários animais, para verificar os efeitos dos diversos tipos de "ar", mas as principais experiências foram feitas com camundongos, que ele mantinha em recipientes de vidro, como mostra a figura acima.

> Estas provas da restauração parcial do ar por plantas em um estado de vegetação, embora em uma situação não natural e confinada, torna altamente provável que o dano que é feito continuamente na atmosfera pela respiração de um enorme número de animais, e pela putrefação de uma grande massa de matéria vegetal e animal é, pelo menos em parte, recuperada pela criação vegetal, apesar da prodigiosa massa de ar que é corrompida diariamente pelas causas acima mencionadas. (Priestley, 1772a, pp. 198-199)

Priestley também verificou que a água podia purificar o ar viciado – especialmente quando se agitava o recipiente onde estavam o ar e a água[9]. Pensou, assim, que os mares também tinham uma

[9] É claro que o gás carbônico não se transforma em oxigênio dessa maneira. O principal efeito é a absorção do gás carbônico pela água. Além disso, a agitação libera um pouco do ar que está normalmente dissolvido na água.

função de purificar a atmosfera, absorvendo os eflúvios nocivos que as plantas não tinham sido capazes de purificar.

John Pringle e Benjamin Franklin, comentando sobre a descoberta de Priestley, apresentaram interpretações que parecem indicar a aceitação da hipótese dos miasmas (Priestley, 1772a, p. 199), pois se referem aos "eflúvios pútridos e pestilenciais" (Pringle), e "ar pútrido" (Franklin). E o próprio artigo original onde Priestley apresentou seus experimentos se refere ao "ar infectado pela respiração animal ou pela putrefação". Tudo isso sugere que essas pessoas estavam relacionando os estudos de Priestley com a antiga teoria dos miasmas.

## 11 A DESCOBERTA DO OXIGÊNIO

Priestley fazia muitos experimentos mais ou menos ao acaso, "para ver o que acontecia". Quando comprou uma grande lente (com 30 cm de diâmetro e distância focal de meio metro), fez muitos experimentos concentrando a luz do Sol sobre várias substâncias e procurando captar os "ares" que saíam delas. Para isso, ele enchia um recipiente de vidro com mercúrio líquido e o colocava de cabeça para baixo, com a boca em um outro recipiente com mercúrio. Introduzia então por baixo uma substância qualquer que, sendo menos densa do que o mercúrio, subia e ficava na parte superior do recipiente de vidro. Podia então aquecê-la com a lente, e os gases que saíam da substância empurravam o mercúrio para baixo e eram capturados no recipiente de vidro.

Em agosto de 1774, numa época em que Priestley era bibliotecário de Lord Shelburne, ele focalizou sua grande lente sobre "cal vermelha de mercúrio", ou "mercúrio calcinado" – um pó vermelho obtido aquecendo mercúrio líquido no ar (Neville, 1974). Ele notou que se desprendia dessa substância uma grande quantidade de "ar" (que atualmente chamamos de oxigênio). Testando suas propriedades, notou que uma vela queimava muito bem nele, com uma chama mais brilhante do que normalmente; e que um camundongo podia viver nesse ar durante o dobro de tempo que sobrevivia em igual quantidade de ar. Posteriormente ele concluiu que esse "ar" era cinco ou seis vezes melhor do que o ar comum.

Os seguidores da teoria do flogisto supunham que uma vela se apagava em um espaço fechado porque o ar ficava totalmente

saturado de flogisto. Priestley concluiu, por isso, que havia preparado um ar totalmente desprovido de flogisto, que podia por isso manter a queima durante um tempo mais longo. Por isso ele o denominou "ar deflogisticado".

Após testar esse ar deflogisticado com camundongos, o próprio Priestley experimentou respirar esse novo tipo de ar. Sentiu uma leveza especial e um bem-estar no peito, e comentou que talvez no futuro esse ar puro pudesse entrar na moda como um artigo de luxo.

Em outubro de 1774, Priestley visitou Paris na companhia de Lord Shelburne, e encontrou-se com Lavoisier e outros pesquisadores, comentando sobre sua recente descoberta do novo "ar". Foi isso o que levou Lavoisier a realizar experimentos semelhantes e a estudar essa substância, à qual deu o nome de "oxigênio". Muitas vezes se considera que a descoberta do oxigênio e do seu papel em inúmeras reações químicas marcou o início da Revolução Química.

Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) já havia descoberto o oxigênio antes de Priestley, em 1772, mas não havia publicado seu trabalho[10]. Ele havia notado que o minério de manganês, ao ser aquecido até ficar rubro como um carvão, produzia uma grande quantidade de "ar". Ele o denominou "ar de fogo", porque produzia fagulhas brilhantes quando entrava em contato com pó de carvão aquecido. Ele coletava os gases utilizando uma bexiga – um método muito menos adequado do que a cuba pneumática de Priestley. Scheele produziu o mesmo gás aquecendo outras substâncias, incluindo o óxido de mercúrio que Priestley estudou depois. Assim como Priestley, Scheele explicou as propriedades desse "ar" utilizando a teoria do flogisto.

Aparentemente, Priestley considerava que os diferentes tipos de "ar" que estudou eram o ar comum com diferentes quantidades de flogisto. Em 1775 ele escreveu: "Acredito que há poucos princípios filosóficos tão firmes quando o de que o ar atmosférico [...]

[10] Scheele só publicou suas pesquisas em 1777, depois da divulgação dos trabalhos de Lavoisier e de Priestley.

é uma substância elementar simples, indestrutível e inalterável, pelo menos tanto quanto se supõe que a própria água também é".

Portanto, a interpretação de Priestley para a natureza dos "ares" e para o efeito que as plantas produziam nas suas propriedades era completamente diferente daquilo que aceitamos hoje em dia. O próprio Priestley não se preocupava muito com as explicações teóricas e afirmava que o mais importante era descobrir novos fatos.

Pouco depois, Priestley manteve uma controvérsia científica com Lavoisier, que defendia novas idéias químicas. Em 1783 Priestley escreveu um trabalho criticando essas idéias e defendendo a teoria do flogisto. Nos anos seguintes, continuou a publicar novas críticas, embora a química de Lavoisier acabasse se impondo, sendo considerada melhor do que a antiga teoria[11].

**Figura 18**. As idéias religiosas de Priestley foram criticadas e ridicularizadas. Nesta caricatura da época, ele está pisando sobre a Bíblia.

[11] A respeito de Lavoisier e da revolução química, ver Filgueiras, 2002.

A obra científica de Priestley foi bastante vasta, mas suas contribuições científicas constituem apenas uma pequena parte daquilo que ele escreveu. Seu principal interesse sempre foi a teologia. A maior parte de seu tempo foi tomada pelo estudo religioso e por seu trabalho como pastor, em vários locais. Ele estava constantemente envolvido em controvérsias e disputas por causa de suas idéias pouco ortodoxas.

Suas opiniões políticas também não foram muito populares: ele criticou o modo como o governo inglês tratava as colônias norte-americanas, e elogiou a Revolução Francesa, por exemplo. Defendeu a igualdade entre os homens (um princípio impopular na época, pois era adotado pela Revolução Francesa) e combateu a escravatura. Em 1791, a população da cidade onde ele morava (Birmingham) atacou e queimou sua casa e sua igreja. Priestley fugiu usando um disfarce. Passou algum tempo em Londres, lecionando no *New College*, mas também sofreu hostilidade por suas idéias. Em 1794 resolveu viver nos Estados Unidos, onde se dedicou principalmente a atividades religiosas e faleceu em 1804.

**Figura 19**. Em 1794 a casa e a igreja de Priestley foram saqueadas e incendiadas, por causa de suas idéias religiosas e políticas.

## 12 ESTUDOS POSTERIORES

Alguns dos resultados obtidos por Priestley sobre a respiração dos animais e sobre o efeito das plantas no ar não eram muito claros. Scheele repetiu alguns desses experimentos e não obteve os resultados esperados. O próprio Priestley obtinha resultados variáveis, sem conseguir explicar o motivo. Havia também fatos que a teoria do flogisto não explicava. Quando Priestley colocava as plantas em ar "corrompido" pela queima, respiração ou putrefação, o ar era geralmente melhorado e capaz de manter a vida e chamas. Mas quando ele retirava o "ar deflogisticado" (oxigênio) do ar, sem adicionar "gás fixo" (gás carbônico), as plantas sempre morriam.

Em 1778, Jan Ingen-Housz – ou Ingenhousz (1730-1799), médico da imperatriz da Áustria, dedicou-se à repetição dos experimentos de Priestley (Spoehr, 1919, pp. 34-35). Ele logo estabeleceu que as folhas das plantas melhoram o ar apenas quando expostas à luz; mostrou que a qualidade vital do ar piora sob ação das partes das plantas que não são verdes, ou pelas plantas verdes mantidas no escuro (Gibson, 1914, pp. 197-199). Todas suas explicações eram ainda feitas utilizando a teoria do flogisto.

**Figura 20**. Jan Ingen-Housz (1730-1799) e Jean Senebier (1742-1809) deram importantes contribuições para a compreensão das relações entre as plantas e o ar.

Ingen-Housz realizou mais de 500 experimentos, nos quais foi isolando os fatores que influenciavam a purificação do ar (ou produção de ar deflogisticado) pelas plantas. Mostrou que esse processo só ocorria quando as plantas eram iluminadas pela luz solar, e que não tinha nada a ver com o calor, pois não se obtinha o mesmo resultado em um cômodo aquecido. Além disso, descobriu que as plantas respiravam como os animais e que reduziam a qualidade do ar à noite. Esse trabalho foi conduzido por hipóteses que ele estava testando cuidadosamente, pois alterava as várias condições em que as observações eram realizadas. Procurava também medir aquilo que acontecia. Conseguiu descobrir o que havia de errado nos estudos anteriores: os pesquisadores não haviam percebido que os resultados eram diferentes à noite e durante o dia.

> Eu observei que as plantas não apenas têm a capacidade de corrigir o mal ar em seis a dez dias, crescendo nele [...] mas que realizam esse papel importante de modo completo em poucas horas; e que essa operação maravilhosa não é devida ao crescimento da planta, mas à influência da luz solar sobre ela. (Ingen-Housz, 1779, pp. xxxiii-xxxiv)

Em seus primeiros trabalhos Ingen-Housz utilizou a teoria do flogisto, mas a partir de 1792 ele havia aderido à nova química de Lavoisier e passou a descreve o processo de forma mais parecida à atual. O próprio Ingen-Housz, no entanto, estava longe de descobrir ou compreender a fotossíntese. Ele concluiu corretamente que as partes verdes das plantas produzem oxigênio sob a luz do Sol, e que produzem dióxido de carbono quando estão no escuro. Mas não tinha a menor idéia sobre o que ocorria *dentro* das plantas. Além disso, não percebeu que a produção de oxigênio só ocorria na presença de gás carbônico.

Outro importante passo adicional foi dado por Jean Senebier (1742-1809) que estudou plantas colocadas dentro de água, para poder observar o desprendimento de gases. Em 1782 ele realizou uma série de experimentos, variando as condições em que o fenômeno era estudado (Gibson, 1914, pp. 199-200). No primeiro, ele colocou folhas dentro de dois recipientes, um deles contendo água pura, o outro com água que continha "ar fixo". No primeiro caso, as folhas não produziram oxigênio, mas no segundo caso

sim. Depois de algum tempo, as folhas paravam de desprender gás, e mesmo colocando folhas novas na água, nada acontecia. Porém, renovando a água com gás carbônico, recomeçava a produção de oxigênio. A partir daí, Senebier concluiu que era o "ar fixo" que permitia a produção do oxigênio.

Nicolas Théodore de Saussure (1767-1845) estudou o processo quantitativamente, fazendo as plantas crescerem em recipientes totalmente fechados e medindo a quantidade de todas as substâncias envolvidas (Gibson, 1914, pp. 201-204; Spoehr, 1919, p. 36). Determinou a quantidade de água presente no início, o aumento de peso da planta, e a quantidade final de água. No trabalho que publicou em 1804 mostrou que a variação de peso das plantas não podia ser explicada apenas pela absorção do dióxido de carbono. Era preciso supor que a planta utilizava tanto água quanto gás carbônico, formando substâncias úteis para seus tecidos, e liberando oxigênio.

Mesmo depois disso, faltava a compreensão de vários outros aspectos. Não existia ainda o princípio da conservação da energia, e portanto não era possível estudar os aspectos de troca de energia ocorridos na fotossíntese. Também não existia um desenvolvimento suficiente da química orgânica que permitisse analisar os processos que ocorriam nas folhas. O próprio nome "fotossíntese" só foi criado em 1893, pelo botânico Charles Barnes.

Pode-se dizer que a descoberta da fotossíntese foi um longo processo, iniciado no século XVII e completado no final do século XIX, graças à contribuição de um grande número de pesquisadores.

## 13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A apresentação didática dos experimentos atribuídos a Priestley não apresenta nenhuma contextualização, não menciona o que ele estava procurando ou testando, e interpreta de forma anacrônica as conclusões tiradas dessas experiências. Além disso, a própria concepção de ciência que está implícita nessas descrições é equivocada. Este trabalho apresentou uma versão mais adequada das pesquisas de Priestley e de sua relevância para a compreensão de alguns processos vitais, na época.

O estudo detalhado deste episódio histórico permite apresentar aos estudantes vários conceitos importantes a respeito da natureza da ciência e da pesquisa, como a íntima relação entre estudos de diversos campos (no caso, a interrelação entre química, física, medicina e história natural), as influências de idéias preconcebidas na pesquisa, as dificuldades que surgem ao se tentar compreender fatos novos e inesperados, as diferenças entre as interpretações do próprio Priestley e as aceitas hoje em dia, a existência de controvérsias, o contexto mais amplo em que se situavam os experimentos descritos de forma tão simplista pelos livros didáticos.

A descrição de seus experimentos mostra a constante influência de hipóteses e analogias guiando o seu trabalho; porém, de acordo com o testemunho do próprio Priestley, muitos dos resultados que ele obteve não foram devidos nem a investigações empíricas sistemáticas, nem resultado de testes de hipóteses, mas surgiram inesperadamente, quando estava procurando outras coisas. Em alguns casos, ele próprio resistiu à aceitação dessas descobertas, que não estavam de acordo com suas expectativas. Em grande parte, a pesquisa de Priestley foi solitária, mas fortemente influenciada por concepções de sua época. À medida que seus trabalhos eram publicados, houve reações positivas (principalmente em relação aos fatos descritos), mas debates a respeito da interpretação dos mesmos. Antoine Lavoisier foi conduzido ao estudo daquilo que chamou "oxigênio" pelos trabalhos de Priestley, mas chegou a interpretações teóricas muito diferentes desses experimentos. É importante enfatizar esse aspecto da dinâmica da ciência, que raramente é apresentado aos estudantes.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CROSLAND, Maurice. Priestley memorial lecture: a practical perspective on Joseph Priestley as a pneumatic chemist. *British Journal for the History of Science* **16**: 223-238, 1983.

EKLUND, Jon. Of a spirit in the water: some early ideas on the aerial dimension. *Isis* **67** (4): 527-550, 1976.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto Lombardi. *Lavoisier e o estabelecimento da química moderna*. São Paulo: Odysseus, 2002.

———. Qualidades e quantidades: caminhos da modernização. *Scientific American História* (6): 50-55, 2006.

GIBSON, R. J. Harvey. Pioneer investigators of photosynthesis. *New Phytologist*, **13** (6/7): 191-205, 1914.

GUERLAC, Henry. Joseph Black and fixed air. *Isis* **48**: 124-151, 433-456, 1957.

HARRIS, D. Fraser. Stephen Hales. The pioneer of the hygiene of ventilation. *The Scientific Monthly* **3** (5): 440-454, 1916.

HERSHEY, J. Willard. The historical development of the relationship of gases to animal life. *Transactions of the Kansas Academy of Science* **37**: 33-38, 1934.

INGEN-HOUSZ, John. *Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying the common air in the sun-shine, and of injuring it in the shade and at night*. London: P. Elmsly and H. Payne, 1779.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira & MARTINS, Roberto de Andrade. Os "miasmas" e a teoria microbiana das doenças. *Scientific American História* (6): 68-73, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria aristotélica da respiração. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] **2** (2): 165-212, 1990.

———. *Contágio: história da prevenção das doenças transmissíveis*. São Paulo: Moderna, 1997.

NEVILLE, Roy G. Steps leading to the discovery of oxygen, 1774: A bicentennial tribute to Joseph Priestley. *Journal of Chemical Education* **51**: 428-431, 1974.

PARASCANDOLA, John; IHDE, Aaaron J. History of the pneumatic trough. *Isis*, **60** (3): 351-361, 1969.

PRIESTLEY, Joseph. Observations on different kinds of air. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **62**: 147-264, 1772 (a).

———. *Impregnating water with fixed air, in order to communicate to it the peculair siprit and virtues of Pyrmont water*. London: J. Johnson, 1772 (b).

———. *Experiments and observations on different kinds of air*. London: W. Bowyer and J. Nichols, 1774-1777. 3 vols.

———. *Memoirs of Dr. Joseph Priestley to the Year 1795*. Written by himself: with a continuation to the time of his decease, by his son, Joseph Priestley: And observations, by Thomas Cooper, President of the 4th. District of Pennsylvania: and the Rev. William Christine. 2 vols. Northumberland, 1804.

RAMSEY, William. *The gases of the atmosphere. The history of their discovery*. London: MacMillan, 1896.

RUTT, John T. (ed.). *Memoirs and correspondence of Joseph Priestley*. Ed. John Towill Rutt. London: R. Hunter, M. Eaton & C. Fox, 1831. 2 vols.

SCHOFIELD, Robert E. Joseph Priestley. Vol. 3, pp. 2299-2308, *in*: GILLISPIE, Charles Coulston (ed.). *Dicionário de biografias científicas*. Editor da versão brasileira: Cesar Benjamin. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2007.

THORPE, T. E. *Joseph Priestley*. London: J. M. Dent, 1906.

WALKER, W. Cameron. The beginnings of the scientific career of Joseph Priestley. *Isis* **21**: 81-97, 1934.

# Alfred Russel Wallace e o princípio de seleção natural

**Viviane Arruda do Carmo** [*]
**Nélio Bizzo** [#]
**Lilian Al-Chueyr Pereira Martins** [§]

**Resumo:** A evolução é um dos temas científicos mais importantes no currículo do ensino médio. Infelizmente na maioria dos livros didáticos que abordam este tema são encontrados tanto erros conceituais como erros históricos. O objetivo deste capítulo é discutir uma lacuna relacionada ao tema: a falta de menção (ou menção distorcida) a Alfred Russel Wallace (1823-1913) no ensino médio. Embora Wallace e Darwin tenham chegado independentemente ao princípio da seleção natural e comunicado o resultado de suas investigações à *Linnean Society* de Londres em 1858, em geral os livros didáticos discutem apenas a contribuição de Darwin. Wallace é mencionado como um naturalista que enviou o seu ensaio para Darwin, o qual motivou Darwin a publicar o *Origin of Species* e que as idéias evolutivas de ambos são bastante semelhantes. Este trabalho mostra que embora houvesse de fato semelhanças das idéias dos dois naturalistas acerca desse princípio no período próximo da publicação do livro de Darwin, durante o prosseguimento de suas carreiras suas idéias nem sempre foram convergentes. A análise das semelhanças e diferenças entre as duas propostas traz alguns ensinamentos acerca da natureza da ciência tais como a simultaneidade em relação às idéias de autores diferentes; a existência de dificuldades e conflitos nas explicações de fenômenos naturais; e a existência de modificações graduais em relação às idéias dos cientistas.

[*] Doutoranda da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Rua Andes, 763. São Paulo, SP. CEP: 08440-180. E-mail: arrudacarmo@ig.com.br.

[#] Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Av. da Universidade 308, São Paulo, SP, CEP 05508-040. E-mail: bizzo@usp.br

[§] Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; Grupo de História e Teoria da Ciência (GHTC), Universidade Estadual de Campinas; pesquisadora do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Caixa Postal 6059, CEP 13083-970. Campinas, SP. E-mail: lacpm@uol.com.br

**Palavras-chave**: história da biologia; ensino de biologia; Wallace, Alfred Russel; Darwin, Charles; seleção natural

**Wallace and the principle of natural selection**

**Abstract**: Evolution is one of the most important scientific subjects included in the high school syllabus. Unfortunately we can find both conceptual and historical distortions related to this subject in the high school textbooks. The aim of this chapter is to discuss a gap related to teaching of evolution: the lack of mention (or a distorted mention) to Alfred Russel Wallace in high school teaching. Although Wallace and Darwin arrived independently to the principle of natural selection and both communicated their results to the *Linnean Society of London* in 1858, most text books discuss only Darwin's contribution. Wallace is seldom mentioned as the naturalist whose essay motivated Darwin to publish the *Origin of species*. In addition to this, their ideas are described as being quite similar. The present work shows that in spite of their similarities concerning the principle of natural selection, in the period close to the publication of *The origin of species*, their ideas became more and more divergent as time passed by. The analysis of the similarities and differences between their proposals provides some relevant instances about several features of the nature of science such as: the simultaneity of ideas of different authors; the existence of difficulties and conflicts related to the explanation of the natural phenomena; and the existence of gradual modifications of the scientists' ideas.

**Keywords**: history of biology; biology teaching; Wallace, Alfred Russel; Darwin, Charles; natural selection.

## 1 INTRODUÇÃO

Várias pesquisas (Bizzo, 1994; Oliveira, 1995; Goedert, 2004) demonstram a importância do ensino de evolução para o esclarecimento dos alunos acerca de vários tópicos relacionados à Biologia. A evolução biológica é um tema de grande importância no ensino médio, tratado nos livros didáticos usuais nos quais os professores se baseiam para preparar suas aulas. Nessas obras, infelizmente, encontramos não somente erros conceituais, mas também históricos, a respeito da teoria da evolução biológica. Este trabalho abordará uma lacuna importante: a falta de menção (ou menção distorcida) a Alfred Russel Wallace (1823-1913) no ensino médio.

Analisando livros didáticos de biologia da última década, percebemos que nos capítulos que tratam sobre evolução, muitas vezes são mencionadas apenas duas teorias evolutivas: a de Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) e a de Charles Darwin (1809-1882): "Duas grandes teorias evolucionistas revolucionaram a Ciência: a

teoria de Lamarck e a teoria de Darwin". Muitos não mencionam o nome de Wallace: "Darwin prestou inegáveis contribuições à Ciência no que se refere ao estudo da seleção natural". Em outro livro encontramos a seguinte citação: "Todavia, o fenômeno luta pela vida, proposto por Darwin, é indiscutível, assim como é inegável a seleção natural dos mais aptos. Esses dois fatores continuam, em nossos dias, a serem reconhecidos como essências, ainda que não únicos, no mecanismo da evolução das espécies".

Muitas vezes, quando citado, o nome de Wallace é mencionado apenas como um naturalista que enviou o seu ensaio para Darwin, o qual motivou Darwin a publicar a *Origem das Espécies*, e que as idéias evolutivas de ambos são bastante semelhantes.

Em 1858, Wallace era um jovem naturalista que estava trabalhando no Arquipélago Malaio. Ele chegou à idéia de seleção natural, independentemente de Darwin, parcialmente inspirado (como ele) por uma obra de Thomas Malthus (1766-1875). Na verdade, não só estes dois naturalistas, mas muitas outras pessoas cogitaram a possibilidade de transformação das espécies por um processo de seleção natural, como o próprio Darwin reconheceu em prefácios posteriores do seu livro *Origem das espécies*.

## 2 DARWIN, WALLACE E O PRINCÍPIO DE SELEÇÃO NATURAL

Um relato do trabalho dos naturalistas ingleses Alfred Russel Wallace e Charles Darwin foi apresentado à *Linnean Society* de Londres em julho de 1858 e logo a seguir eles foram publicados na revista desta sociedade[1].

Nos artigos em questão, ambos naturalistas fizeram referência à luta pela existência que ocorre na natureza, onde o indivíduo mais bem adaptado sobrevive e deixa mais descendentes do que o menos adaptado, o que conduz ao declínio de sua variedade ou espécie, eventualmente conduzindo-a à extinção. Percebe-se tam-

[1] Charles Robert Darwin and Alfred Russel Wallace, "On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection".

bém que, embora Wallace não tenha utilizado a expressão "seleção natural", referiu-se a um princípio cuja conotação é a mesma daquela proposta por Darwin.

Em relação a este fato Wallace se expressou:

> A poderosa garra retrátil do falcão – e do grupo dos felinos não foram produzidas ou aumentadas pela vontade desses animais; mas entre as diferentes variedades que ocorreram nas formas primitivas e menos organizadas daqueles grupos, aqueles que sobreviveram por mais tempo possuíam maiores facilidades para agarrar sua presa. (Darwin & Wallace, 1858, p. 61)

Por outro lado, ao se referir ao mesmo princípio Darwin assim se expressou:

> No caso de uma região que sofreu algumas mudanças, alguns de seus habitantes vão variar ligeiramente – porém não acredito que a maioria dos seres vivos varie suficientemente o tempo todo pela seleção que atua sobre eles. Alguns habitantes serão exterminados; outros serão expostos a ação mútua de diferentes habitantes, que eu acredito ser muito mais importante para a vida de cada ser do que o mero clima. Considerando infinitamente os vários caminhos pelos quais os seres vivos obtêm alimento, através da luta com outros organismos, para escapar do perigo em várias épocas da vida, para ter seus ovos e sementes disseminadas, etc., eu não posso duvidar que durante milhares de gerações indivíduos de uma espécie terão ocasionalmente nascido com alguma variação. Tais indivíduos terão uma melhor chance de sobreviver, e de propagar suas estruturas novas e notavelmente diferentes; e a modificação pode ser ligeiramente aumentada pela ação acumulativa da seleção natural. (Darwin & Wallace, 1858, p. 52)

Além dos artigos de 1858, Darwin e Wallace publicaram nas décadas seguintes outras obras onde suas idéias sobre o princípio da seleção natural foram ficando mais claras e abrangentes.

## 2.1 Um panorama geral da situação

Em 27 de dezembro de 1831, quando Darwin iniciou uma viagem ao redor do mundo a bordo do *Beagle*, ele acreditava que as espécies eram fixas – como a maior parte dos naturalistas da época. Mas, no decorrer da mesma, deparou-se com fortes evidências da existência de uma evolução orgânica. Após cinco anos retor-

nou, dedicando-se a várias investigações onde procurou obter respostas acerca do mecanismo natural que propiciava a transmutação das espécies (Carmo & Martins, 2008, p. 456).

Darwin trabalhou em sua teoria de forma bastante discreta. Apenas poucos amigos mais íntimos sabiam de sua existência (Carmo & Martins, 2008, p. 456).

É bem provável que Darwin tivesse dedicado tantos anos à preparação do *Origin*, adiando sua publicação, porque temia receber críticas como as que foram dirigidas às propostas anteriores que tratavam de evolução orgânica, como as de Jean-Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e Robert Chambers (1802-1871).

De acordo com Lilian Martins, a teoria de Lamarck, proposta a partir de 1800 na França, não chegou sequer a ser discutida no âmbito acadêmico, embora alguns dos colegas de Lamarck do *Muséum d'Histoire Naturelle* como Geoffroy-Saint-Hillaire informalmente fossem simpáticos à idéia da existência de uma evolução orgânica. Tal recepção não se deveu à má fundamentação da teoria, pois apesar de ter lacunas metodológicas, apresentava diversos aspectos positivos[2] (Martins, 1993, p. 393; Carmo, 2006, p. 12; Martins, 2007, pp. 14-16).

Em sua teoria, Lamarck propôs que as espécies se transformavam através de um processo lento e gradual regido por leis, sem a intervenção divina, embora não negasse a existência de Deus. Além disso, procurou explicar a origem dos primeiros seres e dos seres mais simples por geração espontânea através de fenômenos conhecidos na época: calórico e eletricidade. De modo análogo, ofereceu uma explicação materialista-mecanicista para a vida. Apresentou também uma explicação para o surgimento das faculda-

[2] Conforme Martins, embora não se aceite boa parte da proposta de Lamarck atualmente, ela representou um sistema coeso de idéias que dá conta dos fatos da época. Além disso, explica o surgimento dos primeiros seres por geração espontânea; procura dar uma explicação para o aparecimento de novos órgãos; dá uma explicação para não variação das espécies do Egito. Tem uma visão uniformitarista levando em conta o fator tempo nas mudanças geológicas; apresenta um conhecimento acerca da importância dos fósseis, e dá uma explicação para o enfraquecimento dos órgãos. Para mais detalhes, ver Martins, 1993, p. 393.

des superiores do homem (atenção, memória, etc.), o limite superior da escala animal (Martins, 2007, pp. 19-20; 22-27).

Posteriormente, cerca de quatro décadas após a apresentação da teoria de Lamarck, foi publicada na Grã Bretanha uma obra anônima que também tratava da evolução orgânica. Esta obra foi intitulada *Vestiges of the natural creation*. O nome do autor foi revelado apenas após sua morte. Tratava-se de Robert Chambers, uma pessoa culta, mas que não possuía nenhuma formação específica (Martins, 1993, p. 380; Carmo, 2006, p.12).

**Figura 1**. Alfred Russel Wallace, fotografado em 1848.

**Figura 2**. Charles Darwin, fotografado em 1854.

Chambers procurou explicar a gênese das espécies como um processo gradual e lento. Ele procurou ainda reconstituir a história da natureza através da Paleontologia dedicando cerca de quarenta e três páginas às formações fósseis, desde as mais antigas, que contêm as primeiras formas de vida, até o Terciário, em que os mamíferos eram abundantes (Martins, 1993, p. 381; Carmo, 2006, p. 13).

Robert Chambers negava, portanto, a idéia que era aceita de um modo geral na época de que as criações recentes estariam relacionadas às grandes revoluções físicas da superfície terrestre, substituindo as espécies que pereciam em tempos de tempestades vulcânicas e outras catástrofes, e que eram substituídas posterior-

mente por faunas inteiramente novas (Martins, 1993, p. 381; Carmo, 2006, p.13).

Assim, na época de Darwin aceitava-se de um modo geral que as espécies eram fixas (Carmo & Martins, 2008, p. 456).

Em 1850, Darwin começou a escrever uma versão ampla de sua teoria, tendo completado o primeiro esboço de dez capítulos e meio em 1858. Entretanto, este processo foi interrompido por uma carta de Alfred Russel Wallace acompanhada do manuscrito do artigo "On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type" (Bowler, 1990, p. 17; Mayr, 1982, p. 423). Era comum na época que os estudiosos se dirigissem a um profissional com mais experiência a fim de solicitar uma avaliação inicial (Carmo & Martins, 2008, p. 457).

Wallace era, na época, um jovem naturalista que estava trabalhando no Arquipélago Malaio. Darwin teria ficado assombrado com a pormenorizada semelhança entre as idéias contidas no manuscrito de Wallace e as suas próprias idéias. Após ler a carta de Wallace, Darwin relatou em sua autobiografia, que escreveu ao amigo Charles Lyell dizendo que Wallace não poderia ter feito melhor resumo do trabalho que ele havia desenvolvido no decorrer dos últimos vinte anos (Mayr, 1982, p. 444; Carmo & Martins, 2008, p. 457). Em relação a este fato, Darwin assim se expressou em uma carta enviada para Lyell em julho de 1858: "Se Wallace dispusesse do esboço do manuscrito que escrevi em 1842, não poderia ter feito um resumo melhor! Até seus termos figuram agora como títulos de meus capítulos" (Burkhard, 2000, p. 274).

Charles Lyell e outros colegas mais próximos como Joseph Hooker e Asa Gray, que vinham acompanhando o desenvolvimento de sua teoria, propuseram uma apresentação conjunta dos artigos de Darwin e Wallace numa reunião na *London Linnean Society* (Carmo & Martins, 2008, p. 457).

Em julho de 1858, ambos os artigos foram lidos na *Linnean Society* e posteriormente publicados nos *Proceedings* desta sociedade com os títulos "On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural selection" e "On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type". Na publicação constava um pequeno resumo do manuscrito de Darwin e uma parte da carta que Darwin havia enviado para o botânico americano Asa Gray em 1857, o que

mostrava que Darwin já tinha tido a idéia antes (Carmo, 2006, p. 27).

No ano seguinte (1859), Darwin publicou a primeira edição do *Origin of Species*. Nesta obra ele admitia a existência de uma evolução orgânica por um processo lento e gradual através do acúmulo de pequenas modificações sobre as quais agia a seleção natural. Ele deixou bem claro que, embora a seleção natural fosse o principal meio de modificações das espécies, não era o único. Apesar de acreditar que a evolução ocorria principalmente de forma lenta e gradual, considerava também que, eventualmente era possível a formação brusca de uma nova espécie. A este fenômeno ele chamou de *sports*. Entretanto, para ele, este modo não era significativo dentro do processo evolutivo como um todo (Martins, 2006, p. 261).

Em relação ao princípio de seleção natural, Darwin admitiu que este princípio consiste na preservação das diferenças e das variações individuais favoráveis à espécie, e a eliminação das variações nocivas: "A esta preservação das diferenças e variações individuais favoráveis, e a destruição das prejudiciais eu chamei de Seleção Natural ou Sobrevivência do mais adaptado" (Darwin, [1875], 1952, p. 40). Darwin apontou, além da seleção natural, outros tipos de seleção: a seleção artificial e a seleção sexual.

A seleção artificial era feita pelo homem nos animais e plantas. A ela, Darwin atribuía o aperfeiçoamento das raças domésticas e ao cruzamento, a manutenção de certa combinação de qualidades. Além disso, Darwin explicou que um exame atento dos animais domésticos e das plantas cultivadas pelo homem poderia trazer esclarecimentos acerca dos meios de modificação e adaptação das espécies, embora este tipo de estudo fosse desprezado pela maioria dos naturalistas da época (Darwin [1875], 1952, p. 6-7).

Em relação à seleção sexual, Darwin argumentou que este tipo de seleção estava relacionada com a vantagem que certos indivíduos possuíam sobre os outros do mesmo sexo e da mesma espécie, somente naquilo que concernia à reprodução (Darwin, [1875], 1952, p. 43).

Assim, segundo o naturalista, geralmente quando os machos e fêmeas de qualquer espécie animal apresentam hábitos normais de vida, diferindo apenas sob o ponto de vista da estrutura, cor ou ornamentação, estas diferenças são devidas quase que unicamente

à seleção sexual. Ocorrem devido à luta dos machos pela posse da fêmea ou devido à preferência da fêmea pelos machos que mais lhe agradam. As características que lhes conferem esta superioridade (meios de ataque e de defesa, beleza, etc.) são vantagens que os machos transmitem somente à sua descendência masculina (Darwin, [1875], 1952, p. 43-44).

Darwin também aceitava a herança dos caracteres adquiridos bem como o princípio do uso e desuso[3]. No capítulo 1 do *Origin of Species* ele comentou:

> A mudança de hábitos produz um efeito herdado, como no período de florescimento das plantas quando são transportadas de um clima para outro. Com os animais, o aumento do uso ou desuso das partes tem uma influência mais marcada: assim, eu encontrei no pato doméstico que os ossos da asa pesam menos e os ossos da pena mais, em proporção ao esqueleto como um todo, do que ocorre com os mesmos ossos no pato selvagem; e esta mudança pode ser atribuída seguramente ao fato de que o pato doméstico voa muito menos e anda mais do que seus parentes selvagens. (Darwin [1875], 1952, p. 10)

Como comentamos anteriormente, Darwin realizou uma viagem ao redor do mundo a bordo do *HMS Beagle*, a qual proporcionou a coleta de dados e informações acerca do processo evolutivo e da origem das espécies. Wallace, de modo análogo a Darwin, colheu dados e informações com o mesmo objetivo através de duas viagens, uma para a América do Sul e outra para o arquipélago Malaio.

---

[3] A maioria dos livros didáticos refere-se a estas duas leis como se resumissem toda a teoria evolutiva de Lamarck e fossem idéias originais dele. Entretanto, de acordo com Martins, tanto a "lei do uso e desuso", como a "lei dos caracteres adquiridos", que faziam parte da teoria de Lamarck, não eram idéias originais suas. Eram idéias que se aceitavam na época e continuaram a ser aceitas posteriormente, pois faziam parte da teoria de Darwin. Por outro lado, a teoria de Lamarck não se reduz a esses aspectos. Para mais detalhes, ver Martins, 1993; Martins & Brito, 2006.

De acordo com Bulmer, foi no Arquipélago Malaio que Wallace desenvolveu sua teoria sobre evolução orgânica que aparece em dois artigos, escritos enquanto ele estava coletando profissionalmente nesse arquipélago. O primeiro artigo, "On the law which has regulated the introduction of a new species", foi escrito em Sarawak, Borneo, em 1855. A partir do que havia observado em relação à distribuição geográfica e geológica de animais e plantas, ele propôs a lei que diz que "toda espécie surgiu coincidindo tanto no tempo como no espaço com uma espécie que estava relacionada a ela de modo muito próximo" (Bulmer, 2005, p. 125; Carmo, 2006, p. 26).

Entretanto, segundo Bulmer, Wallace em sua autobiografia escrita em 1905 considerou que em seu artigo de Sarawak havia ficado claro que uma espécie, quer lentamente, quer rapidamente, se transformava em outra. Entretanto, tanto o processo envolvido nesta transformação como as causas permaneciam desconhecidas para ele. A solução para o problema parece ter ocorrido para Wallace durante sua recuperação de uma crise de malária na ilha Gilolo, em fevereiro de 1858, através do mecanismo da seleção natural (Bulmer, 2005, p. 126; Carmo, pp. 26-27).

Assim, no decorrer de sua carreira, Wallace procurou explicar como os animais e plantas se modificavam no decorrer do tempo, produzindo novas raças e espécies. De modo análogo a Darwin, ele acreditava que as espécies se formavam através do mecanismo da seleção natural.

Wallace explicou que quando não existiam mudanças nas condições físicas ou orgânicas de uma região, a seleção natural atuava de forma a conservar todas as espécies em um estado perfeito e de completo desenvolvimento, preservando assim o equilíbrio já existente entre os diferentes grupos de organismos. Mas, sempre que as condições físicas ou orgânicas se modificavam, ainda que as modificações fossem leves, alguma mudança correspondente ocorria na flora e na fauna. Em relação a este fato, Wallace comentou:

> Considerando a severa luta pela existência e as relações complexas entre vários organismos, dificilmente é possível que tal mudança não seja benéfica para algumas espécies e ofensiva para outras. O resultado mais comum, entretanto, será que algumas espécies aumentarão e outras diminuirão; e nos casos onde uma espé-

> cie já existia em menor quantidade uma diminuição avançada deve conduzir para a extinção. Isto permitirá um espaço para o aumento de outras espécies, e assim um considerável reajuste das proporções das várias espécies deve acontecer. Quando, no entanto, a mudança for de um caráter mais importante, afetando diretamente a existência de muitas espécies, tornando difícil para elas manterem a si próprias sem alguma considerável mudança na estrutura ou hábitos, estas mudanças em alguns casos ocorrerão através da variação e seleção natural e, assim, novas variedades ou novas espécies devem ser formadas. [...] Enquanto que outras [espécies], que não se modificarem, sucumbirão às condições mudadas e se tornarão extintas. (Wallace, 1890, pp. 115 – 116)

Wallace ainda admitiu que a mais importante condição de todas para a formação de novas espécies era que, indubitavelmente, as variações deveriam ocorrer em quantidade suficiente e com caráter suficientemente diverso em um grande número de indivíduos, a fim de permitir amplo material para a seleção natural atuar (Wallace, 1890, p. 116).

Portanto, para o naturalista britânico a seleção natural estava apoiada nos seguintes fatos: primeiramente o poder de aumento em progressão geométrica do qual são dotados todos os organismos e a inevitável luta pela existência que ocorre entre eles, além da ocorrência de muitas variações individuais combinadas com sua transmissão hereditária (Wallace, 1890, p. 122; Carmo, 2006, p. 70).

Wallace também atribuía importância à seleção artificial que era feita pelo homem nos animais e nas plantas, responsabilizando-a, de forma análoga a Darwin, pelo aperfeiçoamento das raças domésticas.

Assim, Wallace e Darwin atribuíram um papel importante à seleção natural ou sobrevivência do mais apto concordando que esta ocorre devido ao grande poder de aumento dos organismos que existem na natureza. Para ambos a seleção natural atuava sempre no sentido de preservar as variações que fossem úteis para a espécie.

O princípio da seleção natural foi certamente um ponto importante das propostas de Darwin e Wallace. Como vimos anteriormente, embora houvesse semelhanças entre as idéias dos dois

naturalistas acerca desse princípio, durante o prosseguimento de suas carreiras suas idéias nem sempre foram convergentes.

Wallace acabou por defender uma visão muito mais radical do que Darwin a respeito da importância da seleção natural, negando o papel do uso-desuso e herança dos caracteres adquiridos (que Darwin aceitava) e minimizando o papel da seleção sexual.

Wallace não concordava com a explicação oferecida por Darwin para as diferenças sob o ponto de vista da ornamentação, estrutura e cor existentes entre os machos e fêmeas serem devidas quase que unicamente à seleção sexual, por conferirem ao macho, superioridade em relação à beleza, armas de defesa, de ataque, etc. Ele também discordava que tais características ocorriam devido à luta dos machos pela posse da fêmea ou devido à preferência da fêmea pelos machos que mais lhe agradam.

Para Wallace, tais diferenças podiam ser explicadas pela seleção natural. Muitas vezes a coloração dos animais estava relacionada à defesa ou ao reconhecimento pela própria espécie.

Segundo Wallace, o termo seleção sexual deveria se restringir somente aos resultados diretos da luta e combate entre os machos (Wallace, 1890, p. 282; Carmo & Martins, 2006, p. 346).

Por outro lado, Wallace se convenceu de que o surgimento das faculdades mentais e intelectuais do homem não poderia ser explicado pela teoria da evolução.

Para Wallace, a seleção natural era inadequada para explicar certas habilidades intelectuais humanas. O argumento oferecido por ele era que uma característica desenvolvida pela seleção natural teria como atributo estar mais ou menos presente em todos os indivíduos da mesma espécie de maneira razoavelmente uniforme. Porém, isso não se aplicava em relação às qualidades intelectuais, que variavam muito de indivíduo para indivíduo. Pouquíssimos seres humanos seriam, por exemplo, efetivamente dotados de talento para a matemática ou a música, e, esses indivíduos, se comparados à população normal, exibiriam essas qualidades de maneira extraordinariamente superior (Wallace, 1890, pp. 469-471; Ferreira & Carmo, 2007, p. 233-234).

Além disso, Wallace argumentou que tais habilidades não tornavam seus possuidores mais aptos a lutarem pela sua existência. Para Wallace, a seleção natural é responsável somente pela preservação das variações que são úteis na luta pela vida. Segundo o

naturalista, nenhuma criatura poderia ser melhorada além de suas necessidades. Ele explicou:

> Nós devemos perguntar, entretanto, de que modo sucessivos estágios de aperfeiçoamento da faculdade matemática estavam relacionados com a vida ou morte de seus possuidores; com a luta de tribo com tribo, ou nação com nação; ou com a sobrevivência de uma raça e a extinção de outra. Se ela [faculdade matemática] não teve qualquer efeito, então ela não pode ter sido produzida pela seleção natural. (Wallace 1890, p. 466)

Wallace propôs, então, para explicar a natureza intelectual e moral do homem, a existência dentro dele de uma essência espiritual capaz de se desenvolver progressivamente. Para ele, o propósito do mundo seria o desenvolvimento do espírito humano em associação com o corpo. Haveria um mundo invisível, o mundo dos espíritos (Ferreira & Carmo, 2007, p. 234).

## 3 COMO OS LIVROS DE BIOLOGIA ABORDAM ESSSE ASSUNTO?

Através de nossa análise verificamos que em alguns livros didáticos de Biologia o nome de Wallace não é mencionado ao lado de Darwin em relação à teoria da seleção natural.

Conforme comentamos em nossa introdução, ao tratar sobre evolução biológica, muitos autores referem-se apenas a Lamarck e Darwin: "Lamarck e Darwin foram evolucionistas que explicaram a origem das adaptações como resultado de mudanças nos seres vivos". Por outro lado, os livros que mencionam Wallace, muitas vezes o fazem de maneira equivocada.

Selecionamos como amostra para nossa análise alguns trechos desses livros. Iremos reproduzir e fazer alguns comentários sobre eles, oferecendo elementos que possam talvez auxiliar os professores na sala de aula, no ensino desses conteúdos.

> Princípio do darwinismo:
>
> **Diversidade na espécie –** os indivíduos de uma espécie não são todos iguais.
>
> **Luta pela vida –** os seres vivos produzem muitos descendentes, mas poucos chegam à fase adulta para reproduzir-se; por isso o

> número de indivíduos de cada espécie se mantém constante ao longo das gerações.
>
> **Seleção natural** – somente os mais aptos sobrevivem porque são mais ajustados (adaptados) às condições ambientais, de modo que cada geração aprimora o grau de adaptação conseguido por seus ancestrais.

A maioria dos livros ao tratar da evolução biológica aborda esses conceitos como tendo sido propostos e fundamentais apenas para Darwin. Wallace é mencionado por esses autores apenas como um naturalista que enviou o seu ensaio para Darwin, o qual motivou Darwin a publicar a *Origem das espécies*.

No artigo que Wallace enviou a Darwin em 1858, sua visão acerca do processo evolutivo envolvia os conceitos de luta pela existência e seleção natural, embora Wallace não tenha utilizado a expressão "seleção natural". Em relação a este fato, Wallace comentou:

> A vida dos animais selvagens é uma luta pela existência. O amplo esforço de todas as suas faculdades e energia é exigido para preservar sua própria existência e sustentar seus jovens descendentes. A possibilidade de procurar alimentos durante as estações menos favoráveis, e de escapar dos ataques de seus maiores inimigos, são as condições primárias que determinam a existência dos indivíduos e de toda a espécie. (Darwin & Wallace, 1858, p. 54)

Wallace, de forma análoga a Darwin, inspirou-se na obra de Malthus, *An essay of the principle of population*. Todos os livros didáticos que pesquisamos omitem esse fato. Mencionam apenas que as idéias de Malthus influenciaram Darwin na elaboração de sua teoria evolutiva.

Wallace também chamou atenção para as diferenças que existem entre os indivíduos de uma mesma espécie:

> Cada um sabe que em cada ninhada de gatinhos ou cachorrinhos não existem dois iguais. Mesmo nos casos em que eles são exatamente parecidos nas cores, se observarmos atentamente perceberemos outras diferenças. Eles diferem no tamanho, na proporção do corpo e membros, na extensão e textura do pelo ou notavelmente em sua disposição. (Wallace, 1890, p. 83)

Portanto os conceitos de luta pela existência, seleção natural e diversidade foram observados na natureza e admitidos por ambos naturalistas.

> Finalmente, em junho de 1858, Darwin recebeu do naturalista inglês Alfred Russel Wallace uma carta com conclusões fundamentalmente idênticas às suas.

Embora as conclusões de Wallace apresentadas no artigo de 1858 sejam semelhantes às de Darwin sob muitos aspectos, não podemos afirmar que são fundamentalmente idênticas. Uma análise mais cuidadosa desse artigo nos revela algumas diferenças.

Uma das preocupações de Wallace no artigo em questão foi discutir a formação das variedades, a estabilidade das variedades formadas e das espécies em condições naturais e em condições onde elas foram domesticadas.

Wallace reuniu uma série de argumentos para mostrar que existe na natureza uma tendência em progressão continuada em certas classes de variedades de se afastarem de seu tipo original. Wallace ainda admitiu que o mesmo princípio que produz este resultado em condições naturais, explicava porque as variedades domésticas possuíam uma tendência em reverter ao tipo original (Darwin & Wallace, 1858, p. 53). O naturalista britânico não utilizou o termo "seleção natural", embora tenha se referido ao princípio cuja conotação é a mesma daquela proposta por Darwin, conforme comentamos anteriormente.

Por outro lado, Darwin comparou o trabalho da seleção natural ao trabalho realizado pelo homem com suas produções domésticas, no sentido de que o homem selecionava as características que lhe pareciam úteis e agradáveis nos animais e as reproduzia, e a seleção natural selecionava as características que fossem úteis para a espécie. (Darwin, 1858, p. 50). Já Wallace utilizou a analogia das espécies domesticadas com as selvagens, com o propósito de elucidar como as variedades produzidas entre as espécies domésticas são afetadas pelo princípio da seleção natural, uma vez que as mesmas eram submetidas a condições totalmente diferentes daquelas que se encontravam no estado selvagem (Darwin & Wallace, 1858, pp. 59-60).

Diferentemente de Wallace, Darwin introduziu nesse trabalho o princípio da seleção sexual:

> Além da seleção natural através da qual os indivíduos são preservados, quer em seu estado de ovo, quer em seu estado larval, ou em sua forma madura [...], existe uma segunda agência em trabalho na maioria dos animais de sexo oposto, tendendo a produzir o mesmo efeito, isto é, a luta dos machos pelas fêmeas [...]. Este tipo de seleção, no entanto, é menos rigoroso do que o outro [seleção natural]; não requer a morte daquele que obteve menos sucesso, mas implica em deixar muito poucos descendentes. (Darwin, 1858, p. 50)

Portanto a afirmação de que as conclusões de Darwin e Wallace neste artigo são fundamentalmente idênticas não procede.

Muitos autores referem-se a Wallace como sendo o co-autor de Darwin na elaboração da teoria da seleção natural.

> Darwin demorou muito para divulgar suas idéias à comunidade científica. A divulgação foi precipitada por uma carta enviada a Darwin pelo naturalista Alfred Russel Wallace que, embora trabalhando de modo independente, havia chegado às mesmas conclusões que Darwin em relação à seleção natural. Por esse motivo, considera-se **Wallace co-autor da teoria da seleção natural.**

Como elucidamos anteriormente, Darwin e Wallace propuseram de forma independente o princípio da seleção natural e publicaram dois artigos diferentes um seguido do outro na revista da *Linnean Society*. Portanto, não se trata de um trabalho em co-autoria.

> Darwin demorou a publicar suas idéias porque, ao contrário de Wallace, procurou confirmá-las através de um grande número de evidências.

Estudos historiográficos mostram que Darwin procurou reunir uma série de evidências a favor de sua teoria, antes de publicá-la.

As propostas anteriores que tratavam sobre evolução orgânica, como a de J. B. Lamarck teve um impacto muito baixo em sua época. Ela não chegou nem a ser discutida dentro da *Académie des Sciences* de Paris. A teoria de Robert Chambers (1802-1871) foi violentamente criticada no âmbito acadêmico. Podemos acrescentar ainda a teoria proposta pelo avô de Darwin, Erasmus Darwin

em sua obra *Zoonomia* (1794-1796) que também não foi bem recebida[4] (Carmo, 2006, p. 20).

A maioria das pessoas, mesmo aquelas que detinham um conhecimento mais elevado, acreditava na imutabilidade das espécies, ou seja, que as espécies não se modificavam no decorrer do tempo. Muitos ainda acreditavam na narração da *Sagrada Escritura*, no livro do *Gênesis*, que relata que Deus criou o universo e as espécies como elas são atualmente, já adaptadas ao ambiente, e criou o homem à sua semelhança (Carmo, 2006, pp. 5-6).

Além disso, de acordo com Ernst Mayr, a maioria dos professores e amigos de Darwin, também acreditava firmemente que as espécies não se modificavam. Os dois professores de Cambridge de quem Darwin foi mais próximo, John Henslow e Adam Sedgwick, foram ambos ministros anglicanos. Até mesmo o geólogo Charles Lyell, que influenciou profundamente o pensamento de Darwin acreditava que as espécies haviam sido criadas através da intervenção divina (Mayr, 1991, pp. 12-13).

Por outro lado, é incorreto dizer que Wallace não reuniu uma série de evidências antes de propor sua teoria. Ele presenciou a biodiversidade através das viagens que realizou para a América do Sul e o Arquipélago Malaio. Wallace desejava obter informações sobre a distribuição geográfica das espécies e esclarecimentos sobre sua origem (Raby, 2001, p. 2). Além disso, de modo análogo a Darwin, fez diversas leituras de obras como o *Vestiges of natural history of creation*, de Chambers, *The zoology of the voyage of HMS Beagle*, os *Principles of geology*, de Lyell, o *Essay*, de Malthus, e os trabalhos de Humboldt.

> Wallace tinha seu trabalho pronto para publicação muito antes de Darwin. As anotações de Darwin, de 1844, mostram, no entanto, que ele havia desenvolvido suas idéias sobre a seleção natural antes de ter lido o manuscrito de Wallace. O próprio Wallace sempre reconheceu que cabia a Darwin a maior parte do crédito por esse conceito inovador.

[4] Erasmus Darwin procurava leis que governassem a variação dos organismos e admitia a herança dos caracteres adquiridos.

A afirmação de que Wallace tinha seu trabalho sobre a seleção natural pronto para publicação muito antes de Darwin é incorreta. Conforme comentamos neste capítulo, a idéia de seleção natural ocorreu para Wallace durante a recuperação de uma crise de malária na ilha Gilolo no Arquipélago Malaio em 1858.

Entretanto, conforme Regner, em 1842 Darwin escreveu seu primeiro *Ensaio*, onde estava exposta em linhas gerais toda teoria evolutiva que posteriormente ele exibiu na *Origem das espécies* (Regner, 2008, p. 56).

É conhecido o fato de que Wallace sempre manteve uma relação de respeito com Darwin. Os dois mantiveram contato através de cartas, onde discutiam sobre diversos assuntos relacionados às suas pesquisas.

Por outro lado, não encontramos nenhum registro de que Wallace houvesse afirmado que a maior parte do crédito da teoria da seleção natural coubesse a Darwin. Além disso, o conceito de seleção natural não foi um conceito inovador. O próprio Darwin reconheceu, no prefácio do *Origin*, que este conceito já havia sido anunciado na *Royal Society* em 1813 pelo Dr. W. C. Wells, quando ele leu um artigo de sua autoria que tratava sobre o caso de uma mulher branca cuja parte da pele assemelhava-se a de um negro. Em relação a esse artigo Darwin comentou:

> Nesse artigo, ele [Dr. Wells] distintivamente reconhece o princípio de seleção natural, e este é o primeiro reconhecimento deste princípio; mas ele o aplica somente para a raça humana, e para certas características sozinhas [...]. (Darwin, [1875], 1952, p. 2).

Mas de acordo com Darwin, o artigo não foi publicado. Somente em 1818 Wells publicou "Two essays upon dew and single vision".

Em outro livro didático, encontramos:

> Em 1889, Wallace publicou um excelente trabalho sobre seleção natural. O título dado por ele foi *Darwinism*.

Wallace não tratou da seleção natural somente nessa obra. Ele publicou vários trabalhos no decorrer de sua carreira onde tratou sobre a seleção natural. Inclusive no artigo que enviou a Darwin em 1858.

Além disso, *Darwinism* não foi uma obra onde Wallace tratou somente da seleção natural. Trata-se de um trabalho onde está exposta toda a teoria de evolução biológica de Wallace e Darwin.

Já no prefácio da primeira edição da obra, ele comentou:

> O presente trabalho trata do problema da Origem das Espécies dentro das mesmas linhas gerais que foram adotadas por Darwin: mas de um ponto de vista que se atingiu depois de quase trinta anos de discussão, com a abundância de fatos novos e a defesa de muitas novas e antigas teorias. (Wallace, 1890, "Preface to the first Edition", p. v.)

A intenção de Wallace era convencer seus leitores de que a partir de então a teoria deveria ser vista da forma pela qual ele a estava apresentando no livro: mantendo alguns aspectos originais e modificando outros, em relação à proposta original de Darwin. A isto ele chamou de Darwinismo.

Assim, nessa obra, ao contrário de Darwin que atribuía grande importância à herança dos efeitos produzidos pelo uso e desuso sobre o processo evolutivo, Wallace admitiu que os efeitos do uso e desuso não seriam herdados. Além de acreditar que os efeitos do uso e desuso seriam muito pequenos, Wallace era simpático à teoria da "continuidade do plasma germinativo", proposta por August Weismann (1834-1914) após a morte de Darwin, cuja principal conseqüência era que quaisquer caracteres adquiridos não seriam transmitidos dos progenitores para seus descendentes[5] (Wallace, 1890, p. 438). Assim variação e seleção superavam os efeitos do uso e desuso para Wallace (Carmo, 2006, p. 90).

Normalmente ao tratar sobre teoria evolutiva, as pessoas referem-se sempre a Darwin. Entretanto as idéias de Wallace se asse-

[5] Conforme Martins, August Weismann é normalmente reconhecido por duas importantes contribuições com relação à teoria da hereditariedade. A primeira foi sua bem sucedida crítica do princípio da herança dos caracteres adquiridos em 1882. A segunda diz respeito à distinção entre o "germeplasma" ou "plasma germinativo" (material responsável pela hereditariedade, contido nas células reprodutivas) e o "somatoplasma" ou "plasma somático" (células do restante do corpo). Weismann admitia que apenas o plasma germinativo era transmitido de uma geração à outra. Para mais detalhes, ver Martins, 2003, p. 53.

melham mais às idéias evolutivas atuais do que as de Darwin, já que ele não aceitava, por exemplo, a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso, pressuposto admitido por Darwin até sua morte.

## 4 ALGUNS PONTOS IMPORTANTES PARA SEREM DISCUTIDOS EM SALA DE AULA

Analisando-se as semelhanças e diferenças entre Darwin e Wallace, pode-se perceber vários aspectos que não costumam ser explorados no ensino de biologia, como o caráter mais ou menos vago e confuso das idéias, quando estão nascendo; as múltiplas influências de idéias que "estão no ar" (influências culturais) no desenvolvimento da ciência; a existência de conflitos e dificuldades na explicação dos fenômenos naturais pelo uso das teorias; e a existência de transformações graduais nas concepções defendidas por cada cientista. Além disso, a análise do surgimento do princípio de seleção natural mostra que alguns princípios fundamentais da ciência não se basearam em estudos empíricos ou em um "método científico" (como se costuma defender nos livros didáticos).

No caso específico de Darwin e Wallace, devemos ainda chamar a atenção de nossos alunos para o fato de que há possibilidade de duas ou mais pessoas, dentro de um mesmo país ou não, chegarem a uma mesma concepção. A construção de teorias como a evolutiva, por exemplo, é o resultado de um trabalho coletivo que envolve as contribuições de vários indivíduos, dentro de um mesmo contexto, envolvendo erros e acertos.

Wallace, como Darwin, era inglês e residia na Inglaterra em um período marcado por profundas mudanças políticas, religiosas e econômicas.

Além disso, no século XIX, especificamente na década de 1840, a História Natural era muito popular na Grã Bretanha. Embora não se pudesse dizer que o colecionador fosse um profissional estabelecido como o médico ou clérigo, fazia parte de uma tradição que vinha desde o século XIV. Na Grã Bretanha vitoriana era grande a paixão por descrever e colecionar objetos naturais e existia todo um encantamento com a exclusividade de tais objetos (Camerini, 1996, p. 44; Carmo & Martins, 2008, p. 457).

Darwin e Wallace, que viveram em um período onde havia esta tradição, foram exímios colecionadores e estudiosos da natureza.

Como já mencionamos, Darwin realizou uma viagem ao redor do mundo a bordo do *HMS Beagle*, a qual proporcionou a coleta de dados e informações acerca do processo evolutivo e da origem das espécies. Wallace, de modo análogo a Darwin, colheu dados e informações através de duas viagens, uma para a América do Sul e a outra para o Arquipélago Malaio. Além de ter acesso à biogeografia e diversidade biológica, ambos fizeram a leitura das mesmas obras científicas como os *Vestiges of the Natural History of Creation*, de Chambers, os *Principle of Geology*, de Lyell, o *Essay*, de Malthus, e os trabalhos de Alexander Von Humboldt.

Portanto, podemos afirmar que não há conclusões tiradas do nada, tudo faz parte de um contexto, ou seja, o pensamento científico não é construído por gênios que por uma inspiração divina formularam determinada teoria. Mas por seres humanos que, embora possam se destacar por suas contribuições, são influenciados pelo contexto no qual estão inseridos, podendo cometer erros e acertos. Portanto, a ciência é falível.

Através desse exemplo também é possível mostrar que a aceitação ou o ataque a alguma proposta não dependem apenas de seu valor intrínseco, de sua fundamentação, mas que nesse processo estão também envolvidas outras forças tais como sociais, políticas, filosóficas ou religiosas (Martins, 1998, p. 18).

A teoria evolutiva de Darwin e Wallace enfrentaram forte resistência, pois a maioria das pessoas mesmo aquelas que detinham um conhecimento mais elevado, acreditava na imutabilidade das espécies, ou seja, que as espécies não se modificavam no decorrer do tempo. Isto se deve provavelmente ao fato de que embora a igreja Anglicana estivesse submetida ao governo, ela controlava todo o sistema educacional do país (Carmo, 2006, p. 8).

Portanto, introduzir o estudo de Wallace no ensino de biologia pode trazer muito mais do que resgatar um autor ignorado: pode ajudar a trazer para a sala de aula uma discussão sobre alguns tópicos relevantes a respeito da própria natureza da ciência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. From Down House landlord to Brazilian high school students: what has happened to evolutionay knowledge on the way? *Journal of Research in Science Teaching* **31**(5): 537-556, 1994.

BOWLER, Peter. *Charles Darwin: the man and his influence.* Berkeley: University of California Press, 1990.

BULMER, Michael. The theory of natural selection of Alfred Russel Wallace. *Notes & Records of the Royal Society*, **59**: 136-152, 2005.

BURKHARD, F. (ed.). *As cartas de Charles Darwin: uma seleta, 1825-1859*. Tradução Vera Ribeiro. São Paulo: Editora da Unesp, 2000.

CARMO, Viviane Arruda do. *Concepções evolutivas de Charles Darwin no Origin of Species e de Alfred Russel Wallace em Darwinism: um estudo comparativo.* São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica.

CARMO, Viviane Arruda do & MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. Pp. 335-350, *in:* PRESTES, Maria Elice Brzezinski; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira & STEFANO, Waldir. *Filosofia e história da biologia I.* São Paulo: MackPesquisa, 2006.

———. Algumas concepções evolutivas de Darwin no *Origin of Species* e de Wallace em *Darwinism*. Pp.455-461, *in*: MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibele Celestino S; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo & MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *Filosofia e história da ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 5º Encontro.* Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008. ]

CAMERINE, Jane R. Wallace in the fiel. *Osiris* **11** (2): 44-65, 1996.

DARWIN, Charles. *On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle of life.* [1875]. 6ª ed. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great Books of the Western World 49).

DARWIN, Charles Robert & WALLACE, Alfred Russel. On the tendency of species to form varieties; and On the perpetuation

of varieties and species by natural means of selection. *Journal of the Linnean Society of London*, **3**: 45-62, 1858.

FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo & CARMO, Viviane Arruda. Wallace e a origem do homem: suas concepções e as interpretações historiográficas. Pp. 227-244, *in:* MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; PRESTES, Maria Elice BrzezinskI; STEFANO, Waldir & MARTINS, Roberto de Andrade. *Filosofia e História da Biologia II.* São Paulo: MackPesquisa, 2007.

GOEDERT, Lidiane. *A formação do professor de Biologia na Universidade Federal de São Carlos e o ensino da evolução.* Florianópolis, 2004. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A História da Ciência e o ensino da Biologia. *Ciência & Ensino* (5): 18-21, 1998.

———. August Weismann e evolução: os diferentes níveis de seleção. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* [série 2] **1** (1): 53-74, 2003.

———. *Materials for the study of variation* de William Bateson: um ataque ao Darwinismo? Pp. 259-282, *in* MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; REGNER, Anna Carolina Krebs Pereira & LORENZANO, Pablo (eds.). *ciências da vida: estudos históricos e filosóficos.* Campinas: AFHIC (Associação de História e Filosofia do Cone Sul), 2006.

———. Lamarck, evolução orgânica e materialismo. Pp. 11-38, *in:* MORAES, João Quartim de (org.). *Materialismo e evolucionismo. Epistemologia e História dos conceitos.* Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 2007.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira & BRITO, Ana Paula Oliveira Pereira de Morais. A História da Ciência e o ensino da Genética e Evolução no nível médio: um estudo de caso. Pp. 245-264, *in* SILVA, Cibelle Celestino da (ed.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MAYR, Ernst. *The growth of biological thought. diversity, evolution and inheritance.* Cambridge (MA): The Belknap Press, 1982.

———. *One long argument. Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought.* Cambridge (MA): Harvard University, 1991.

OLIVEIRA, L. D. Evolução: Um fio condutor para os conhecimentos biológicos. *Anais do 1º Ciclo de Debates sobre o ensino de Biologia.* Florianópolis: UFSC, 1995.

RABY, Peter. *Alfred Russel Wallace. A life*. New Jersey: Priceton University Press, 2001.

REGNER, Anna Carolina K. P. Darwin o colecionador de cartas. Pp. 53-61, *in*: MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo & MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul. Seleção de Trabalhos do 5º Encontro*. Campinas: AFHIC (Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul), 2008.

WALLACE, Alfred. *Darwinism: an exposition of theory of natural selection with some of its applications*. 2. ed. London: Macmillan, 1890.

# O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel

**Nelio Bizzo** *
**Charbel Niño El-Hani** #

**Resumo**: Vários estudos enfocaram o ensino de evolução em diversos lugares do mundo, tendo apontado algumas características comuns. Uma das situações invariantes é o baixo desempenho de estudantes que completam seus estudos antes da universidade, no que seria o ensino médio brasileiro. Até mesmo investigações sobre estudantes universitários de cursos de biologia têm mostrado resultados parecidos, no Brasil e em outros países. Estes resultados sugerem que há razões complexas para as dificuldades de aprendizagem de evolução, que não devem limitar-se à destreza e aos conhecimentos do professor ou às habilidades cognitivas do aluno. Neste artigo, investigamos pressupostos epistemológicos dos currículos de Biologia que dizem respeito às relações entre a genética clássica e a teoria da evolução desenvolvida por Charles Darwin. Para tanto, serão utilizados os relatos originais de Mendel e de Darwin, buscando compreender as relações possíveis de coerência e contrariedade entre as duas formulações. Em essência, discute-se a relação entre as idéias de Mendel expostas em seu artigo seminal de 1865 e as idéias de Darwin sobre herança, com suas conseqüências evolutivas. A questão fundamental do artigo é a seguinte: se a afirmação de que a genética de Mendel e a evolução de Darwin se complementam intrinsecamente estiver errada, qual a decorrência curricular que disso deve advir?
**Palavras-chave**: darwinismo; mendelismo; ensino de evolução; história da Biologia; epistemologia da Biologia; natureza da ciência (NOS).

**Curriculum design for teaching evolution and relations between the works of Charles Darwin and Gregor Mendel**

* Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil. ++ 55 11 3727-2761 (phone/fax) or ++ 55 11 3815-0297. E-mail: bizzo@usp.br

# Departamento de Biologia Geral, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. E-mail: charbel.elhani@pq.cnpq.br

**Abstract**: Several studies have focused on the teaching of evolution in diverse places of the world, and detected some common characteristics. There is always a low performance of high school students (or corresponding levels before higher education). Even the analysis of college students in Biology courses have shown similar results in Brazil and other countries. These results suggest that there are complex reasons for the difficulties of learning the evolution theory, which are not limited to the skill and knowledge of the teacher or the student's cognitive skills. In this article we investigate some epistemological assumptions of the biological curricula concerning the relationship between classical genetics and the theory of evolution developed by Charles Darwin. Making use of the original reports of Mendel and Darwin, we seek to understand the possible relationships of consistency and opposition between the two formulations. In essence, we discuss the relationship between the ideas of Mendel explained in his seminal article of 1865 and the ideas of Darwin on inheritance, with its evolutionary consequences. The fundamental question of the article is this: if the statement that the genetics of Mendel and Darwin's evolution theory complete one another is intrinsically wrong, what consequences does it bring to the curriculum?
**Keywords**: Darwinism; Mendelism; evolution education; philosophy of biology; history of biology; nature of science (NOS).

## 1 INTRODUÇÃO

Em muitos países, os currículos incluem a genética mendeliana nos níveis de escolaridade freqüentados por adolescentes, correspondentes ao nosso ensino médio. Ela é vista, de certa forma, como uma espécie de pré-requisito para o ensino de evolução. Este, por sua vez, deve aguardar o desenvolvimento conceitual da genética para ser então apresentado aos alunos, com os tradicionais exemplos daquilo que se tem denominado microevolução. Essa perspectiva está firmemente baseada em pressupostos epistemológicos e históricos sobre as relações entre os trabalhos de Gregor Mendel e Charles Darwin. Muitos estudos têm mostrado que o conhecimento que os estudantes têm de evolução é bastante restrito e tem sido argumentado que um enfoque histórico seria necessário para permitir o desenvolvimento de um real entendimento da teoria evolutiva. Muitas pesquisas têm encontrado concepções "lamarckistas" nos estudantes (mas veja Shtulman, 2006, a respeito da alegação da natureza lamarckista das idéias dos estudantes), o que apenas reforça a necessidade de revisitar os passos históricos e epistemológicos que conduziram à moderna visão sobre evolução.

Há muitas linhas de pesquisa sobre ensino e aprendizagem da

evolução biológica que têm focalizado, por exemplo, as habilidades de pensamento do aprendiz (Lawson & Worsnop, 1992; Passmore & Steward, 2002, Banet & Ayuso, 2003), as estratégias dos professores, os materiais instrucionais etc., mas as conexões curriculares entre genética e evolução não foram estudadas até o momento (para uma revisão, veja Hokayem & BouJaoude, 2008).

É comum encontrar relatos em diferentes fontes dando conta de que Darwin não tinha uma teoria da herança e que, portanto, não conseguiu construir uma visão mais sofisticada da evolução biológica em seu tempo. De acordo com essa versão, a escola poderia oferecer uma base anterior em genética, de maneira que os estudantes poderiam enfrentar a tarefa de conceber modelos evolutivos em situação muito mais vantajosa do que o próprio Darwin teria experimentado, ou seja, estudar evolução tendo já assentada uma base sólida em genética. Existe uma crença muito disseminada de que Darwin poderia ter desenvolvido um sistema de idéias muito mais próximo da chamada Teoria Sintética caso tivesse tido algum contato com a obra de Mendel. Pretendemos revisitar neste artigo algumas pesquisas sobre história da biologia, procurando mostrar que mesmo que Darwin tivesse tido notícia dos trabalhos experimentais de Mendel – o que acreditamos de fato ter ocorrido –, isso não seria suficiente para modificar suas idéias sobre hereditariedade. Examinaremos essas crenças e ofereceremos algumas considerações sobre a visão de Darwin sobre herança, incluindo seu conhecimento sobre a relação 3:1 na segunda geração de híbridos, e, por fim, apresentaremos cinco razões para considerar alternativas para o desenvolvimento curricular que não a usual seqüencia dos conteúdos de genética e evolução.

Enfim, queremos focalizar as crenças implícitas que sustentam a visão de que, no ensino médio, o lugar da genética no currículo deve ser obrigatoriamente anterior ao da evolução, a partir do argumento de que essa visão não se sustenta em uma base sólida, seja do ponto de vista histórico, seja do ponto de vista epistemológico. Portanto, queremos argumentar que o estudo sobre currículos pode ser um item relevante para a pesquisa futura que se vier a fazer sobre ensino e aprendizagem de evolução, visando atingir resultados de aprendizagem mais significativos no âmbito das escolas.

## 2 DARWIN E MENDEL: O DESENCONTRO APRESENTADO AO PÚBLICO

É comum encontrar a afirmação de que Darwin poderia ter conseguido um resultado muito superior em seu trabalho teórico se tivesse tido informação sobre Mendel e suas leis da herança. Na época de Darwin não havia conhecimento dos mecanismos hoje reconhecidos para explicar como características hereditárias são transmitidas de uma geração à seguinte e quais as fontes de novas características. O trabalho de Mendel não oferecia novas idéias sobre a segunda questão, mas trazia uma visão bem definida sobre a maneira como características hereditárias são transmitidas de uma geração à outra. Ele explicava que o cruzamento de plantas com características diferentes não resultava em misturas intermediárias na descendência, mas, ao contrário, as características se comportavam de forma discreta, mantendo sua integridade ao longo das gerações.

A versão do desafortunado desencontro entre Darwin e Mendel pode ser encontrada em uma variedade de fontes dirigidas ao grande público, como na programação da televisão pública educativa norte-americana e em sua biblioteca digital: "O que Darwin não sabia: Gregor Mendel e o Mecanismo de Herança: [...] O trabalho de Mendel ajudou a responder essas questões, mas Darwin infelizmente não teve conhecimento do trabalho de Mendel durante toda sua vida" (PBS, 2001).

Os livros didáticos de Biologia também adotam essa perspectiva, e não apenas no Brasil, como se pode ver no seguinte exemplo:

> Apenas alguns anos depois de Darwin publicar seu livro 'Origem das Espécies', Gregor Mendel escreveu um artigo muito inovador sobre a herança em ervilhas. Nesse artigo, Mendel propunha o modelo de herança particulada, que afirmava que os organismos transmitem unidades discretas herdáveis (hoje chamadas de genes) à sua descendência. Embora Darwin nunca tenha conhecido os genes, o trabalho de Mendel preparou o terreno para a compreensão das diferenças genéticas nas quais a evolução está baseada. (Campbell & Reece, 2008, p. 469)

Essa versão do desconhecimento de Darwin sobre o trabalho de Mendel é antiga. Mais recentemente, surgiu outra versão bas-

tante sofisticada sobre as inovações de Mendel, escrita em um livro didático que, como o anterior, é amplamente usado em muitos países. Mendel não teria sido tão inovador ao planejar seus experimentos, mas teria, pela primeira vez, *contado numericamente* os diferentes tipos de descendentes. Ele teria repetido alguns experimentos realizados na Inglaterra e, pela primeira vez, supostamente, quantificado as diferentes formas que apareceram na descendência:

> Esse era o mesmo delineamento experimental que Knight e outros tinham utilizado muito antes. Mas Mendel foi um pouco além. Ele contou os números da descendência exibindo cada traço em cada geração seguinte. Ninguém tinha feito isso antes. (Raven, Johnson, Losos & Singer, 2004, p. 245)

Os livros didáticos brasileiros adotam uma exposição mais neutra do assunto, ressaltando uma suposta contraposição entre Lamarck e Darwin, como se apenas o cientista francês admitisse a herança das características adquiridas. Há livros que afirmam simplesmente que Darwin não conseguiu explicar a herança de maneira satisfatória e que a redescoberta das leis de Mendel permitiu construir a síntese evolutiva. Assim, a versão do "desencontro" entre Darwin e Mendel passa a ser implícita apenas. No entanto, a versão explícita do "desencontro" também está presente em livros didáticos brasileiros, inclusive com algum destaque. Por exemplo, numa seção intitulada "O que Darwin não sabia: neodarwinismo", afirma-se em um destes livros:

> O trabalho de Darwin despertou muita atenção, mas também suscitou críticas. A principal era relativa à origem da variabilidade existente entre os organismos de uma espécie. Darwin não tinha recursos para entender por que os organismos apresentam diferenças individuais. **Não chegou sequer a ter conhecimento dos trabalhos que Mendel realizava, cruzando plantas de ervilhas.** (Uzunian & Birner, 2002, v3, p. 265, sem ênfase no original)

Mas essa versão do "desencontro" entre Darwin e Mendel não está restrita a audiências leigas ou escolares, podendo ser também encontrada na academia. Por exemplo, Ernst Mayr afirmou que Darwin nunca ouvira sobre os trabalhos de Mendel e, portanto, nunca foi capaz de resolver o problema das relações entre genética

e evolução (Mayr, 1991). Mais recentemente, outra versão da mesma idéia apareceu em um livro escrito por um professor da respeitada Universidade de Princeton, nos Estados Unidos, que divulga a informação de que teria sido encontrado um exemplar intacto do trabalho de Mendel nos arquivos de Darwin, mas que este não teria sido lido, sequer folheado. Indo além, afirma-se que, se Darwin o tivesse lido "a biologia evolutiva teria sido antecipada em três décadas" (Rose, 2000, p. 43). No entanto, é preciso lembrar que a história da síntese evolutiva foi muito complexa (Bowler, 2003), de modo que uma perspectiva histórica mostra que não seria viável para Darwin construir sozinho, ou mesmo pavimentar o caminho, para um enfoque sintético simplesmente lendo o trabalho de Mendel. Trata-se de uma simplificação muito distorcida da sucessão dos fatos. Contudo, o mito de que Darwin poderia ter realizado tudo sozinho ainda prospera em diversos contextos, inclusive no escolar.

## 3 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS E EPISTEMOLÓGICAS

É possível traçar sem dificuldade a origem da idéia do desencontro acidental entre Darwin e Mendel. Ela apareceu no livro de William Bateson, *Princípios da hereditariedade de mendel: uma defesa*, ainda em 1902. Ali, Bateson escreveu:

> Tivesse o trabalho de Mendel ganhado as mãos de Darwin, sem exagero podemos afirmar que a história do desenvolvimento da filosofia evolutiva teria sido muito diferente daquela que testemunhamos. (Bateson, 1902, p. 39)

Em versão posterior do livro, que pretendia ser resultado do apaziguamento de ânimos entre os que se opunham a Mendel e os que o defendiam, todos no campo do evolucionismo, Bateson reiterou a versão, não apenas repetindo a frase acima (Bateson, 1909, p. 31), como inserindo outra semelhante:

> Tenho tranqüila certeza de que se o artigo de Mendel tivesse passado pelas mãos dele [Darwin], aquelas passagens [sobre as afirmações do progresso evolutivo por meio de fusão de caracteres] teriam sido imediatamente revistas. (Bateson, 1909, p. 19)

Essas afirmações não podem ser tomadas por seu valor de face, visto que, para compreendê-las em sua plenitude, é necessário situá-las no contexto dos (árduos) debates entre Bateson e os membros da escola biométrica (Olby, 1989; Bowler, 2003). Essa escola tinha sido inaugurada pelo controvertido primo de Darwin, Francis Galton, a partir da aplicação de regras estatísticas à análise do espectro de variação biológica em populações e do efeito da seleção natural sobre as mesmas. A idéia básica era aplicar ferramentas estatísticas na análise de populações naturais de modo a coletar evidências diretas da operação da seleção natural. Uma das conseqüências dessa aplicação tinha sido a ênfase no papel central da variação contínua no processo evolutivo, enquanto Mendel procurara em seus trabalhos, por razões de ordem metodológica, justamente caracteres descontínuos.

Apesar de Galton ter sido um entusiasta de primeira hora da teoria de Darwin sobre a herança (Pangênese), ele propôs quase vinte anos depois uma "lei da herança ancestral". De acordo com Galton, um indivíduo herdaria metade de suas características dos pais, um quarto de seus avós e assim por diante, até frações infinitesimais de gerações muito remotas. Esta era uma conseqüência de sua recusa da "herança mole" (*soft inheritance*), para usar os termos de Mayr (1982), que não deixava espaço para a herança dos caracteres adquiridos. Este modelo confrontava aquele no qual as partículas seriam modificadas a cada geração, tornando-se mais "prepotentes" ou "revertendo ao estoque parental", nos termos da Pangênese de Darwin (1868). Curiosamente, Galton não acreditava que a seleção pudesse produzir modificações permanentes nas populações devido ao fenômeno que ele denominou regressão, isto é, a cada geração as variantes regrediriam rumo a um valor médio que seria característico da espécie como um todo (Galton, 1886). A regressão, embora tenha gerado um algoritmo matemático promissor, tinha como decorrência a impossibilidade de mudanças evolutivas permanentes devidas à seleção natural (Mackenzie, 1984; Heyde & Senete, 2001; Bowler, 2003). Conseqüentemente, Galton foi levado a uma idéia contrária à teoria de Darwin sobre o papel da seleção natural, admitindo que espécies poderiam surgir por saltos evolutivos.

A alegação de Bateson, ao especular que Darwin teria se encantado pelas idéias de Mendel, tivesse ele tido a oportunidade de

delas ter notícia, pode ser entendida como uma tentativa de trazer de volta a figura de Darwin ao debate. Assim, ele apoiaria a visão de Mendel, e não a de Galton e seus seguidores, que já enveredavam por searas muito diferentes daquelas trilhadas por Darwin. Embora hoje seja possível perceber pontos de complementaridade entre as idéias de herança de Mendel e as idéias evolutivas de Darwin, isso não era de maneira alguma evidente nem para Darwin, nem para os primeiros defensores da genética mendeliana, e nem para os biométricos da escola galtoniana. Ao contrário, a genética mendeliana e a perspectiva evolucionista darwiniana foram vistas como teorias opostas, ou mesmo rivais, no início do século XX. Os primeiros mendelianos foram fortemente influenciados pelo princípio saltacionista. A própria "redescoberta" das leis de Mendel em 1900 foi em parte possibilitada pelo entusiasmo pela evolução por saltos (Olby, 1989; Bowler, 2003).

Era evidente que Bateson queria mostrar que as idéias mendelianas não eram de forma alguma anti-darwinianas no sentido evolutivo, apresentando um modelo geral capaz de absorver o que seus críticos apontavam contra ele (Martins, 2002). Ele acrescentou uma nota ao final de sua tradução do trabalho original de Mendel sobre *Pisum* e *Phaseolus* que também incluiu em seu livro, dizendo que, nos parágrafos conclusivos de seu trabalho, Mendel parecia apoiar a idéia de que a mutabilidade geral das espécies poderia ser duvidosa, embora os híbridos produzidos mostrassem que uma espécie poderia se "transformar" definitivamente em outra (Bateson, 1902, p. 95). Era claro que tanto Gregor Mendel como Charles Darwin sabiam que a (falta de) estabilidade dos híbridos ajudaria a esclarecer a questão da (i)mutabilidade das espécies (ver Bowler, 2003).

Não pretendemos explorar profundamente as bases históricas dessas perspectivas (escola mendeliana *versus* escola biométrica) nesse ensaio, mas, antes, contrastar as perspectivas epistemológicas de Darwin e Mendel, realçando suas arestas, na medida em que estas podem ser importantes para explicar o baixo sucesso nas atividades de ensino-aprendizagem relatado na bibliografia. Nossa ênfase nos aspectos históricos nos leva, no entanto, a buscar bases históricas sólidas para evitar tanto a pseudo-história, quanto a pseudo-ciência (Allchin, 2004) no contexto educacional.

Andrew Sclater escreveu um resumo excelente das diferentes versões publicadas sobre os relatos do desencontro entre Darwin e Mendel, bem como sobre as evidências nas quais elas se assentam (Sclater, 2006). A versão do artigo intacto e não lido encontrado nos arquivos de Darwin (Rose, 2000) se referiria ao livro que Darwin mandou a George Romanes, que lhe tinha solicitado sugestões de referências para escrever um curto texto sobre hibridismo. Darwin lhe encaminhou um livro que tinha acabado de receber, com um bilhete no qual dizia não ter tido ainda tempo de ler. Como isso ocorreu poucos meses antes de sua morte, seria lícito concluir que a leitura do livro nunca tenha sido de fato realizada. Neste livro, havia uma breve descrição do trabalho de Mendel. No entanto, Sclater afirma que Darwin teve contato com o trabalho de Mendel pelo menos uma vez, por meio de uma fonte secundária na qual o trabalho de Mendel era discutido com algum detalhe.

Peter Vorzimmer afirmou que Darwin tinha tido contato com o trabalho de Mendel, ao contrário do que se afirmava freqüentemente (como vimos, desde o início do século XX). Ele acrescentava que Darwin tinha contato direto com Nägeli, um botânico com quem Mendel se correspondia com freqüência, bem como com Hermann Hoffmann, que também conhecia os resultados de Mendel. Além disso, Darwin também conhecia os trabalhos de Köelreuter e Knight, este último um dos maiores hibridistas de seu tempo na Inglaterra, que tinha trabalhado extensivamente com ervilhas, produzindo diversas variedades, inclusive a ervilha-doce, consumida como alimento até hoje. Vorzimmer também chamou atenção para o item número 112 da Coleção de Separatas de Darwin, com o título "Untersuchungen zur Bestimmung des Wertes von Spezies und Varietät: in Breitrag zur Kritik der Darwin'schen Hypothese" ("Uma investigação sobre a qualidade de espécies e variedades: uma contribuição para a crítica da hipótese de Darwin"), um longo artigo de revisão escrito por Hermann Hoffmann em 1869. Este trabalho trazia uma revisão de dezenas de estudos publicados sobre hibridização em plantas, incluindo uma crítica à teoria da Pangênese de Darwin recentemente publicada. Vorzimmer mencionou que o artigo de Hoffmann discutia os trabalhos de Mendel e, portanto, concluiu que Darwin conhecia os resultados deste último. Ele ainda acrescentou que, na seção em que o

trabalho de Mendel é exposto ("Seis anos de observações de G. Mendel"), o nome de Darwin é citado quatro vezes, o que certamente chamou sua atenção (Vorzimmer, 1968).

É muito provável que Darwin estivesse especialmente interessado no trabalho de Hoffmann, uma vez que ele continha uma crítica de sua visão sobre herança, que tinha sido exposta no livro *Variations of animals and plants under domestication* (Darwin, 1868). Robert Olby e Peter J. Gautrey também ressaltaram que era de há muito sabido que o trabalho de Hoffmann fora mencionado pelo próprio Darwin em um de seus livros, *Effects of cross and self fertilization in the vegetable kingdom*, de 1876 (Olby & Gautrey, 1968). Isso claramente indica que Darwin realmente o considerou um trabalho importante e relevante para suas reflexões sobre herança. No entanto, Darwin menciona apenas os experimentos de Mendel com feijão, publicados ao mesmo tempo que os experimentos com ervilhas, e também relatados no artigo de revisão de Hoffmann. Olby e Gautrey levaram em consideração anotações na caligrafia de Darwin na margem da página 78 daquela separata como indicação de que ele não teria seguido adiante na leitura do trabalho de Hoffmann, tendo estacionado na página 78 (Olby & Gautrey, 1968). Isso significaria que ele não teria encontrado o trabalho com ervilhas, sem dúvida de importância crucial para a compreensão do sistema mendeliano. Escreveram eles: "É duvidoso, portanto, que Darwin tenha lido os relatos sobre *Geum* e *Pisum*, tendo simplesmente pulado da página 78 até o *Schlussrèsümè* nas pp. 169-171" (Olby & Gautrey, 1968, p. 10).

Essa conjectura sobre o "pulo" que teria feito Darwin desencontrar Mendel em seus resultados mais significativos apenas reforça a antiga afirmação de Bateson, ou seja, que se Darwin tivesse tido contato com os resultados de Mendel em seus experimentos com ervilhas, suas idéias sobre herança teriam sido inteiramente modificadas e a história da biologia evolutiva poderia ter sido completamente diferente daquela que presenciamos. Essa conjectura, no entanto, não considera importantes evidências disponíveis na mesma fonte. Um dos autores deste ensaio (Bizzo) examinou a separata presente na *Darwin's Reprint Collection* do *Manuscripts Room*, na *Cambridge University Library*. Foi possível colher evidências adicionais, muito importantes. Em primeiro lugar, as separatas estão em excelente estado de conservação, o que se deve

não apenas aos cuidados de guarda iniciados pelo próprio Darwin, mas sobretudo a procedimentos de restauro. Portanto, não se pode propriamente realizar um trabalho de arqueologia bibliográfica para apontar evidências de vinco no papel para inferir ações de leitura. A parte efetivamente lida está igualmente bem conservada. A separata não foi produzida com a técnica de dobramento de páginas sem corte, o que era comum a alguns editores da época; em outras palavras, não há marcas físicas derivadas da atividade de leitura na separata, além das próprias marcas deixadas por Darwin. Outra evidência importante, desconsiderada no trabalho de Olby & Gautrey (1968), diz respeito a duas inscrições feitas a lápis. As palavras da página 78 não são as últimas inseridas por Darwin na separata antes do resumo final, que inicia à página 169. De fato, próximo ao relato do trabalho de Mendel com ervilhas, Darwin inseriu duas marcas estranhas, mas significativas: trata-se de grandes letras X com marcas nos quatro espaços definidos pelos ângulos. Em uma dessas marcas, há três pontos e um traço horizontal, cada um deles ocupando um dos espaços internos da marca; noutra, há quatro traços verticais. Como não se trata de um texto escrito, há espaço para diversas interpretações, mas não deixa de ser imediata a referência às proporções dos resultados dos cruzamentos de primeira e segunda geração, como o 3:1 (Bizzo, 1999). Isso pode ser uma indicação do conhecimento de Darwin sobre o conteúdo do trabalho de Mendel na própria separata de Hoffmann, sem que isso tenha em nada alterado sua visão sobre herança.

Na verdade, Darwin já conhecia essas proporções de trabalhos anteriores, não apenas de autores que já haviam realizado experimentos com ervilhas (como Knight), mas também de seus próprios experimentos, e os explicava em termos da prepotência das gêmulas (uma idéia similar ao que hoje denominamos dominância do gene) e reversão ao tipo selvagem. E essa era justamente a moldura teórica adotada para apresentar os dados de Mendel! De fato, Hoffmann assim descreve os resultados de Mendel com ervilhas: "Os híbridos possuem a inclinação de reverter ao tipo [da espécie] parental". Em outras palavras, nem mesmo Hoffmann tinha reconhecido as visões conflitantes de Mendel e Darwin, visto que apresentava os resultados de Mendel com a linguagem da Pangênese de Darwin, ao explicar os 25% de descendentes de

segunda geração que apresentavam as características de um dos avós.

Darwin tinha realizado experimentos nos quais havia encontrado as mesmas relações numéricas que Mendel, por exemplo, com a espécie *Anthirrinum majus* (boca-de-leão). É possível que o trabalho de Hoffmann tenha sido lido por Darwin apenas em 1874 (Olby & Gautrey, 1968). Isso significaria certa coincidência entre a leitura dos resultados de Mendel e a preparação da nova edição de seu livro *Variations of animals and plants under domestication*, cuja segunda edição revisada apareceu em 1875, com uma série de modificações, em especial sobre a Pangênese. Na primeira edição do livro, em 1868, Darwin tinha inserido os resultados de seus cruzamentos com aquela espécie, entre as variedades pelórica, com flores com pétalas de disposição radial, e normal (zigomorfa). Na primeira geração, ele encontrou 100% de descendentes normais. Ele então cruzou esses descendentes, aparentemente idênticos ao tipo parental normal. Ele encontrou descendentes dos dois tipos, e escreveu:

> As plantas cruzadas, que se pareciam perfeitamente ao tipo comum de boca-de-leão, foram então deixadas para se autopolinizar e, de cento e vinte e sete plantas que brotaram de sementes, oitenta e oito provaram ser bocas-de-leão comuns, duas tinham forma intermediária entre a forma normal e a pelórica, e trinta e sete eram perfeitamente pelóricas, tendo revertido à estrutura de uma das plantas-avós (Darwin, 1868, vol. 2, pp. 70-71).

Esses resultados, que o próprio Darwin reconhecia em nada serem originais, mostraram que a primeira geração exibia apenas uma das formas parentais (boca-de-leão comum, de flores zigomorfas), mas na segunda geração ocorria uma "reversão" para a forma latente (de flores com corola radial) em 29% dos casos (37/127), em comparação com as outras formas, correspondentes a 70% (88/127). Portanto, Darwin estava bem ciente da tendência da segunda geração, e acrescentava:

> A tendência ao pelorismo parece ganhar força pela intercessão de uma geração, prevalecendo em larga medida na segunda série de plantas que brotam de sementes. Como é possível a um caráter ganhar força pela intercessão de uma geração, será considerado no capítulo sobre a pangênese (Darwin, 1868, vol. 2, p. 71).

As explicações apareciam no último capítulo de seu livro, "sobre a Pângenese", no qual ele argumentava que a "prepotência" das partículas mudava de acordo com as circunstâncias, de geração em geração. Ele argumentava que a aparição de flores radiais era resultado da mudança do solo, quando a planta encontrava menos nutrientes. Em outros termos, Darwin trabalhava em um modelo de "hereditariedade macia", no qual as partículas hereditárias formavam unidades plásticas, deformáveis e reconfiguráveis. Mendel, por sua vez, trabalhava com um modelo de herança dura, no qual as partículas são unidades discretas, imiscíveis e de configuração estável.

Na segunda edição de seu *Variations of animals and plants under domestication,* que apareceu em 1875, Darwin introduziu muitas modificações – aliás, um indicativo da importância que conferia ao livro –, mas uma delas, embora pequena, é particularmente emblemática. A frase "Não é portanto surpreendente que todos até o momento tenham ficado perplexos ao tentar delinear regras gerais para o fenômeno da prepotência" (Darwin, 1868, vol. 2, p. 71), que significava que ninguém tinha conseguido ainda dar um passo seguro para explicar o que ocorria na segunda geração de cruzamentos entre espécies e variedades diferentes, ganhou uma nova redação: "Não é surpreendente, portanto, que ninguém tenha até o momento conseguido ter sucesso em delinear regras gerais para o fenômeno da prepotência" (Darwin, 1875, vol. 2, p. 47). Isso pode significar que ele estava ciente de outras proposições, as quais, diga-se de passagem, não se limitavam às de Mendel, mas não as julgava bem sucedidas na tentativa de explicar a questão da prepotência/dominância.

Antes que a questão da herança em si, a pergunta que devia ser respondida inicialmente dizia respeito às relações de determinação das partes, em certa medida uma reedição da polêmica epigênese *versus* pré-formação. A passagem ao longo de diferentes gerações sem nenhuma modificação das partículas era uma clara indicação de que as características biológicas estavam de alguma forma pré-definidas. Assim, evidências de que as características não se misturavam em experimentos de hibridização causavam perplexidade a qualquer um que se opusesse à perspectiva da herança macia. Uma troca de cartas entre Darwin e Wallace possui indicações claras dessa sensação de desconcerto. Em 22 de janeiro de 1866, Darwin

escreveu a Wallace dizendo que conhecia um bom número de variedades que não produziam descendentes com características misturadas ou intermediárias, mas sim descendentes semelhantes a uma das formas parentais. Wallace respondeu, em 4 de fevereiro, dizendo que esta seria, então, uma comprovação para a base da origem das espécies, ao que Darwin responde, em uma carta sem data, mas provavelmente escrita em fevereiro de 1866, dizendo que Wallace não tinha entendido sua questão. Para se fazer entender melhor, ele exemplificava dizendo que tinha cruzado duas variedades de ervilhas doces, de flores com cores muito diferentes, a variedade conhecida como "painted lady", de flores rosa e branco, e a variedade "purple", de flor inteiramente púrpura. Ele ia adiante, dizendo que, de seus cruzamentos, tinham resultado descendentes perfeitamente assemelhados às formas parentais, sem nenhuma indicação de mistura dos padrões florais. Ele estava impressionado devido ao fato de que, por vezes, até na mesma vagem havia sementes das duas variedades. Ele terminava a carta perguntando se Wallace conhecia algo parecido com borboletas ou mesmo com plantas do gênero *Lythrum*, que servem de alimento a larvas de diversas espécies desses insetos.

É muito interessante, portanto, perceber que Darwin tinha resultados muito parecidos aos de Mendel, inclusive com ervilhas, mas relutava em modificar sua visão epigenética. Isso nos conduz à conclusão de que as versões que dizem que Darwin nunca ouvira falar de Mendel e que, se o tivesse feito, teria modificado sua visão sobre hereditariedade e, por extensão, sobre evolução, são simplesmente equivocadas e não deveriam ser consideradas no contexto escolar, inclusive para decisões a respeito de currículos. Como diz Sclater:

> A comunidade científica foi extremamente lenta em perceber o significado do trabalho de Mendel, provavelmente porque ele mesmo não foi capaz de explicar completamente a diferença entre seus achados muito precisos com as ervilhas e os resultados não tão fáceis de interpretar com plantas de outros gêneros. Portanto, mesmo que Darwin tivesse estudado os resultados de Mendel, ele bem poderia ter falhado em compreender seu significado. O fato é que o nome de Mendel não aparece no trabalho publicado de Darwin ou em sua correspondência (Sclater, 2006, p. 192).

Ele acrescenta que, de fato, seria muito pouco provável que Darwin aceitasse a interpretação de Mendel, dado que este último parecia compreender as variações que apareciam na descendência de cruzamentos mais como ligados à geração de variações, preservando as espécies, do que à criação de matéria-prima para a ação da seleção natural na origem das espécies.

De qualquer forma, uma conclusão se mostra imperiosa nesse ponto. Darwin não chegou aos mesmos modelos de Mendel porque havia uma marcada diferença de perspectiva teórica, de concepção sobre definições básicas acerca da importância de fatores externos e internos na determinação das características dos seres vivos, de certa forma reeditando a questão pré-formação *versus* epigênese. De fato, a aceitação do modelo mendeliano implicou uma profunda revisão dessas posições, a tal ponto de o debate sobre a determinação do sexo do final do século XIX e início do século XX ter incluído o que Jane Maienschein denominou escolas "internalista" e "externalista" (Maienschein, 1984). Antes que um consenso fosse condensado em torno da herança, considerável esforço foi empreendido tanto no estudo de fatores internos dos gametas como de fatores externos ao zigoto que influenciariam o desenvolvimento dos organismos. Antes de atingir um consenso mínimo sobre essas questões, seria impossível perceber a força que o modelo mendeliano ganharia no decorrer do século XX e isso, em larga medida, explica a "lentidão" da percepção da comunidade científica.

Não pretendemos aqui entrar em detalhes sobre o que ocorreu com o trabalho de Mendel de fato. Nossas intenções são mais modestas. Está claro para nós que, contrariamente à expectativa de Bateson, e independente da opinião dos naturalistas do século XIX sobre Mendel, Darwin não seria capaz de perceber como as idéias medulares do modelo mendeliano de herança poderiam se encaixar em seu próprio modelo evolutivo. Darwin tinha um enfoque hereditário próprio, a teoria da pangênese, a qual diferia em muito da perspectiva de Mendel sobre herança e, na medida em que se considere que Mendel explorava as conseqüências evolutivas de suas conclusões, também sobre a evolução biológica. Darwin e Mendel simplesmente trabalhavam em arcabouços teóricos distintos.

## 4 GENÉTICA E EVOLUÇÃO NA ESCOLA

O planejamento curricular se apóia em certas suposições relacionadas à edificação da complexidade. Conceitos simples, especialmente aqueles que ajudam a compreender outros conceitos mais complexos, são tratados em primeiro lugar no planejamento curricular, de modo a permitir um enfoque progressivo. O estudo da evolução biológica freqüentemente é colocado ao final do ano letivo, quando não no final do último ano do ensino médio (Tidon & Lewontin, 2004). Este seguramente é o caso brasileiro, mas a mesma situação também é observada em outros países. Sem dúvida, diferentes justificativas podem ser apresentadas para essa situação, mas pelo menos uma se coloca no campo histórico e epistemológico. O argumento seria o seguinte: faltava à Darwin o arcabouço teórico da genética mendeliana e, portanto, ele não foi capaz de desenvolver a chamada síntese evolutiva, algo que tomou forma apenas a partir da década de 1930, mediante a fusão do trabalho dos dois cientistas. A escola poderia, então, oferecer um atalho epistemológico aos estudantes, mostrando o trabalho de Mendel como estando diretamente ligado ao de Darwin. Assim, quando os alunos começassem a estudar evolução, teriam já passado pelo aprendizado da genética, algo que lhes proveria o que faltara ao próprio Darwin. O ambiente escolar poderia oferecer, assim, uma "via rápida" em termos do aprendizado da evolução biológica. Nós acreditamos que este é um argumento falacioso, que não está baseado em evidências sólidas, nem em termos históricos, nem em termos da psicologia cognitiva. Apresentamos cinco argumentos para justificar aproximações alternativas no ensino de Biologia no nível médio.

### 4.1 Biologia escolar: historicamente precisa?

O primeiro aspecto a ser considerado diz respeito à versão do conhecimento científico que propiciamos aos estudantes. A 'biologia escolar' pode ser vista como uma versão do conhecimento moldada por diferentes agentes sociais e encontrada nos livros didáticos e currículos. Trata-se de um corpo de conhecimentos construído especialmente para a escola, tendo como objetivo primário ser adequado ao aprendiz. Isso implica que há razões para

evitar uma reconstrução histórica estrita; embora apoiemos fortemente o uso da história da ciência no ensino de ciências, não se pode perder de vista o fato óbvio de que um curso básico de biologia não é um curso de história da biologia. Devemos evitar, pois, abordagens equivocadas, seja da história, seja da ciência (Allchin, 2004). Certamente, isso não significa que devamos ensinar todas as teorias passadas, incluindo aquelas que não são mais aceitas. Por exemplo, não parece haver qualquer razão para ensinar a pangênese em detalhes no ensino médio. Isso poderia ameaçar seriamente a construção pelos estudantes de uma compreensão apropriada da biologia moderna. Entretanto, disso não segue que devamos dizer que Darwin nunca pensou sobre a questão da herança ou, como fez Bateson, que foi uma infelicidade que o trabalho de Mendel nunca tenha chegado às mãos de Darwin.

### 4.2 Genética e evolução: fiquemos atentos às diferenças

Ver a evolução darwiniana como conseqüência da genética mendeliana é uma reconstrução bastante particular da jornada histórica e epistemológica de algumas idéias de (pelo menos) dois pensadores. Esta versão não é a única possível e, claramente, não é a mais precisa de um ponto de vista histórico. E, tampouco, não parece ser a maneira mais fácil de alcançar uma compreensão adequada da biologia moderna. Antes pelo contrário, ela pode tornar esse resultado mais difícil. A genética mendeliana inclui o conceito de herança dura, ou, em outras palavras, de que a hereditariedade é mediada por partículas que transitam inalteradas de uma geração a outra. O próprio Mendel, nos últimos parágrafos de seu artigo de 1865, exprimiu suas dúvidas acerca da possibilidade de "transformação" das espécies além de certos limites, a saber, aqueles dados pelas combinações de variações preexistentes nos estoques parentais. Deve-se considerar que os estudantes podem não lograr pensar de modo claro sobre a compatibilidade entre um modelo de herança dura e as fontes de variação cega disponível para a seleção natural, a deriva gênica e o fluxo gênico. Décadas se passaram antes que as perspectivas mendelianas e darwinista pudessem ser combinadas numa teoria única. Não é provável que possamos reconstruir esse processo tão complexo no âmbito escolar. Se for este o caso, pode muito bem ser que um planejamento curricular que tome a genética como pré-requisito para a evolução em nada

ajude o desenvolvimento apropriado de uma compreensão sobre evolução biológica pelos estudantes.

### 4.3 Genética, microevolução e tempo geológico

A biologia evolutiva se ocupa de dois domínios relacionados de fenômenos: micro e macroevolução. No primeiro domínio, podemos enfocar, por exemplo, a biologia molecular e a genética, enquanto no segundo a paleontologia tem papel central. A maioria dos currículos pré-universitários apresenta um viés desequilibrado para o lado da microevolução (veja, por exemplo, Dodick & Orion, 2003; Dodick, 2007). Mesmo no nível universitário, a paleontologia tipicamente não é considerada uma área nuclear para biólogos. Na Universidade de São Paulo (USP), a paleontologia não é mais ensinada no curso de Biologia como uma disciplina obrigatória. Na Universidade Federal da Bahia, o currículo de Biologia ainda inclui uma disciplina de paleontologia, ministrada num instituto de geociências, e não de biologia, mas o foco principal do ensino de evolução se encontra no nível populacional, privilegiando, pois, a microevolução. Uma possível explicação para esta tendência reside na ênfase – de certo modo, esperada – sobre a seleção natural e a manutenção da variabilidade nas populações. Isso conduz de maneira direta a vínculos entre evolução e genética, colocando uma questão relevante: se a construção dos currículos se apoiar numa abordagem histórica, mostrando em algum detalhe o trabalho de Darwin, o que fazer com seus escritos sobre a pangênese? Além disso, exemplos de evolução popularmente conhecidos, como o melanismo industrial em mariposas e a resistência de bactérias a antibióticos, são exemplos de microevolução, que dificilmente teriam paralelos em exemplos extraídos dos originais de Darwin. Disso resulta uma tensão no currículo, uma vez que adotar uma perspectiva histórica nos levaria a valorizar escritos originais, mas estes são, ao fim e ao cabo, substituídos por textos modernos. De fato, se um estudante abrir *Origem das espécies* ou *Variation*, é possível que fique perplexo com os problemas discutidos, os argumentos desenvolvidos, os exemplos fornecidos.

Ainda mais importante é perceber que a ênfase sobre a microevolução implica uma tendência de menor relevância ao estudo da evolução em grande escala, à origem dos grupos taxonômicos, às tendências evolutivas, à radiação adaptativa, às extinções. Isso

conduz a uma presença desequilibrada da genética e da biologia molecular nos currículos, em comparação com outras áreas, como, por exemplo, a paleontologia. A seleção natural é apresentada aos estudantes desde o começo da unidade sobre biologia evolutiva e eles são instados a construir modelos abstratos de genética de populações, em vez de visualizar processos que têm lugar ao nível dos organismos, buscando conectá-los com mudanças populacionais. Como Jeff Dodick afirma: "começar uma unidade de ensino sobre biologia evolutiva com microevolução, e especialmente com seleção natural, traz dificuldades" (Dodick, 2007, p. 246). A abordagem da macroevolução e, em particular, de um conceito operacional de tempo geológico, é essencial para o desenvolvimento de uma compreensão apropriada da biologia evolutiva (Dodick, 2007).

### 4.4 Evolução biológica ao final: tarde demais?

Um planejamento curricular que situe a evolução na última parcela da biologia do ensino médio pode levar a resultados pífios. Alguns professores e planejadores de currículos tomam como certo que conhecimento sobre a diversidade biológica, a biologia molecular e a genética são essenciais para compreender evolução. Isso leva a uma perspectiva cumulativa, na qual os conteúdos considerados relevantes para a aprendizagem de evolução são somados uns aos outros, de maneira seqüencial, passo a passo. No entanto, tudo é relevante para a evolução, ou vice versa! Isso mostra a dificuldade de adotar tal perspectiva cumulativa. Devemos considerar, entretanto, algumas restrições, como, por exemplo, a extensão temporal do ensino médio de biologia. Se deixarmos a evolução para o fim da educação básica, ela tenderá a ser abordada de modo impróprio e não cumprirá o papel integrador que efetivamente tem no conhecimento biológico. Desta maneira, a evolução não é usada para atribuir sentido aos seus produtos, tal como a diversidade biológica, freqüentemente ensinada como um desfile de diferentes táxons, sem qualquer processo subjacente que os reúna (Rocha *et. al.*, 2007). Além disso, o estudo dos aspectos geológicos do planeta, incluindo a idéia de tempo geológico, poderia ser tratado desde o começo, ajudando na construção de um entendimento mais amplo do ambiente em duas dimensões, espaço e tempo. Para o próprio Darwin, a compreensão do tempo

geológico foi crucial, tendo ocorrido enquanto ele ainda se encontrava no Beagle. Foi sugerido que Darwin abriu as portas do tempo geológico por volta de abril de 1835, quando estava nos Andes, mais de três anos antes de ter lido Malthus e começado a pensar na seleção natural (e na pangênese). Isso pode ser relevante na organização dos currículos. Deslocar esse assunto para outra posição nos currículos poderia beneficiar abordagens mais amplas, que tratassem da macroevolução e evitassem ou, ao menos, tirassem um pouco do foco sobre questões específicas acerca da dinâmica de genes em populações e ao longo das gerações. Isso poderia tornar o assunto mais coerente e adequado para os aprendizes.

### 4.5 Evitando o anacronismo na ciência

Não há qualquer razão para ocultar o fato de que Darwin propôs um modelo de herança que foi rapidamente abandonado pela comunidade científica. Se isso for mencionado, trará um tom mais realista à compreensão da produção do conhecimento científico. Pode-se fazer notar, assim, que um modelo "equivocado" de herança (ou mesmo a ausência de qualquer modelo a este respeito) não constitui obstáculo intransponível para a construção de um modelo apropriado da evolução. De fato, este foi o caso de Darwin, que propôs um modelo de evolução que até hoje consideramos, em termos gerais, "correto", apesar de adotar um modelo "equivocado" de herança. Isso não surpreende, uma vez que a idéia da seleção natural apenas requer que exista variação abundante numa população, além de algumas outras suposições sobre a natureza da variação (ver Gould, 2002), algo que não podia ser negado na época de Darwin. Para construir um modelo de seleção natural, não importa de fato quais são as origens da variação. Esta é uma questão de pesquisa distinta, embora sem dúvida importante. Trata-se de uma outra forma de demonstrar que a defesa de um curso de genética antecedendo obrigatoriamente o estudo da biologia evolutiva pode estar equivocada, tanto pela perspectiva histórica, quanto pela perspectiva epistemológica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Proc. 300786/93, 304243/2005-1 e 300652/2007-0) e a diversas instituições e pes-

soas, pela ajuda, apoio e encorajamento: *School of Education* (*Liverpool University), Manuscripts Room / University of Cambridge Library*, *British Library*, *College of Surgeons of England*, Ann Nauman, Paulo Monteiro, Marsha Richmond, Heidi Bradshaw, Edgar Jenkins, Jon Hodge, Oliver Harlen, Wynne Harlen, Faculdade de Educação (Universidade de São Paulo), e Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* **13**: 179-95, 2004.

BATESON, William. *Mendel's principles of heredity: a defense*. London: Cambridge University Press, 1902.

———. *Mendel's principles of heredity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1909.

BANET, E.; AYUSO, G. Teaching biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education* **25**: 373-407, 2003

BIZZO, Nelio. On the different interpretations of the historical and logical development of the scientific understanding of evolution. Pp. 99-112, *in*: *Toward Scientific Literacy, Proceedings of the IV HPSST Conference*. Faculty of Education, University of Calgary, 1999.

BOWLER, Peter J. *Evolution: the history of an idea*. 3 ed. Berkeley: University of California Press, 2003.

CAMPBELL, Nail A.; REECE, Jane B. *Biology*. 8 ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2008.

DARWIN, Charles R. *Variations of animals and plants under domestication*. London: John Murray, 1868 [second edition 1875].

———.*The effects of cross and self fertilization in the vegetable kingdom*. London: John Murray, 1876.

DODICK, Jeff. Understanding evolutionary change within the framework of geological time. *McGill Journal of Education* **42** (2): 245-64, 2007.

DODICK, Jeff T.; ORION, Nir. Introducing evolution to non-biology majors via the fossil record: a case study from the

Israeli high school system. *The American Biology Teacher* **65**: 185-90, 2003.

GALTON, Francis. Regression towards mediocrity in hereditary stature. *The Journal of the Anthropological Institute* **15**: 246-63, (1886).

GOULD, Stephen Jay. *The structure of evolutionary theory*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 2002.

HEYDE, C. C.; SENETE, Eugene. (Eds.). *Statisticians of the century*. New York: Springer, 2001.

HOKAYEM, Hayat; BOUJAOUDE, Saouma. College students' perceptions of the theory of evolution. *Journal of Research in Science Teaching* **45** (4): 395-419, 2008.

LAWSON, Anton E.; WORSNOP, William A. Learning about evolution and rejection a belief in special creation. Effects of reflective reasoning skill, prior knowledge, prior belief, and religious commitment. *Journal of Research in Science Teaching* **29**: 143-66, 1992.

MACKENZIE, Donald A. *Statistics in Britain, 1865-1930: the social construction of scientific knowledge*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1984.

MAIENSCHEIN, Jane. What determinates sex? *Isis* **75**: 457-80, 1984.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Bateson e o programa de pesquisa mendeliano. *Episteme* **14**: 27-55, 2002.

MAYR, Ernst. *The growth of biological thought*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1982.

———. *One long argument: Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1991.

MENDEL, Gregor. *Experiments in plant hybridization*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965.

OLBY, Robert. The dimensions of scientific controversy: the biometric-Mendelian debate. *The British Journal for the History of Science* **22**: 299-320, 1989.

OLBY, Robert; GAUTREY, Peter J. Eleven references to Mendel before 1900. *Annals of Science* **24**: 7-20, 1968.

PASSMORE, Cynthia; STEWART, Jim. A modeling approach to teaching evolutionary biology. *Journal of Research in Science Teaching* **39**: 185-204, 2002.

PBS. What Darwin didn't know: Gregor Mendel and the mechanism of heredity. PBS, 2001. Disponível em: <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/06/1/l_061_01.html>. Acesso em: 9 de agosto de 2008.

RAVEN, Peter H.; JOHNSON, George B.; LOSOS, Jonathan; SINGER, Susan. *Biology*. New York: McGraw Hill, 2004.

ROCHA, Pedro L. B.; ROQUE, Nádia; VANZELA, André L. L.; SOUZA, Ângela M. F. L.; MARQUES, Antonio Carlos; VIANA, Blandina F.; KAWASAKI, Clarice S.; LEME, Claudia L. D.; FARIA, Débora M.; MEYER, Diogo; OMENA, Elianne; OLIVEIRA, Elizabeth S.; ASSIS, José Geraldo A.; FREGONEZE, Josmara; QUEIROZ, Luciano P.; CARVALHO, Luiz Marcelo; NAPOLI, Marcelo F.; CARDOSO, Márcio Z.; SILVEIRA, Nusa A.; HORTA, Paulo A.; SANO, Paulo T.; ZUCOLOTO, Rodrigo B.; TIDON, Rosana; SILVA, Sueli A. H.; ROSA, Vivian L; EL-HANI, Charbel N. Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity. Pp. 893-907, *in*: *Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks, Tunis 2007.* Tunis: University of Tunis, 2007.

ROSE, Michael R. *O espectro de Darwin: a teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

SCLATER, Andrew. The extent of Charles Darwin's knowledge of Mendel. *Journal of Biosciences* **31**: 191-93, 2006.

SHTULMAN, Andrew. Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology* **52**: 170-94, 2006.

TIDON, Rosana; LEWONTIN, Richard C. Teaching evolutionary biology. *Genetics and Molecular Biology* **27**: 124-31, 2004.

UZUNIAN, Armênio; BIRNER, Ernesto. *Biologia*. São Paulo: Harbra, 2002. 3 vols.

VORZIMMER, Peter J. Darwin and Mendel: the historical connection. *Isis* **59**(1): 77-82, 1968.

# 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*. 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, 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.

Os artigos devem ter um máximo de 6.000 palavras (incluindo as notas de rodapé) e devem seguir o modelo da ABFHiB, disponível em http://www.abfhib.org/Publicacoes/Modelo-Fil-Hist-Biol.doc. 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. 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).

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.

Os autores que não seguirem rigorosamente o modelo utilizado por *Filosofia a 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.

Informações adicionais:
http://www.abfhib.org/Publicacoes/ABFHiB-Publicacoes.htm
fil-hist-biol@abfhib.org

• Caroline Belotto Batisteti; Elaine Sandra Nabuco de Araújo; João José Caluzi: "As estruturas celulares: o estudo histórico do núcleo e sua contribuição para o ensino de biologia"

• Lilian Al-Chueyr Pereira Martins: "Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada"

• Louise Brandes Moura Ferreira; Gilberto Oliveira Brandão: "O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade"

• Maria Elice Brzezinski Prestes; Patrícia Paula de Oliveira; Gerda Maísa Jensen: "As origens da classificação de plantas de Carl von Linné no ensino de Biologia"

• Mariana Ap. Bologna Soares de Andrade; Ana Maria de Andrade Caldeira: "O modelo de DNA e a Biologia Molecular: inserção histórica para o ensino de Biologia"

• Roberto de Andrade Martins: "Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de "ares" e os seres vivos"

• Viviane Arruda do Carmo; Nelio Bizzo; Lilian Al-Chueyr Pereira Martins: "Alfred Russel Wallace e o princípio de seleção natural"

• Nelio Bizzo; Charbel Niño El-Hani: "O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel".

FAPESP ABFHiB BOOKLINK

ISBN 978-85-7729-079-6