

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 revisar 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 oferecemos 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 seqüência 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 frequentemente (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 frequência, bem como com Hermann Hoffmann, que também conhecia os resultados de Mendel. Além disso, Darwin também conhecia os trabalhos de Kölreuter 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 desconectar 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 *Anthirinum 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 Pângenesse”, 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 ouviria 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 devemos 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 devemos 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 consequência 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 & Orión, 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 pan-gênese? 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.
- MAIENSCHNEIN, 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/06/1/1_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.