



A História da Genética clássica nos livros-texto de biologia de nível médio brasileiros: uma análise do *crossing-over* (permuta)

João Paulo Di Monaco Durbano

Programa de Pós Graduação em Biologia Comparada
Universidade de São Paulo

Brasil

joaodurbano@usp.br

Abstract

This research aimed to examine the history of the crossing-over concept as it appears in the eight Biology textbooks approved by the Programa Nacional do Livro Didático (National Program for Textbooks, PNLD) 2012. The historical information analyzed belong to the field of Genetics, which has difficult topics to be learned, with own epistemological obstacles. The qualitative analysis of the textbooks investigated followed the PNLD criteria to evaluate textbook of Natural Sciences and Technologies. The result of this study shows that the History of Science examined do not appear to contribute to the goals of the Parâmetros Curriculares Nacional (National Curriculum Parameters, PCN). The historical approach related to this concept can't give students an idea of how science develops and how scientists work, not helping to overcome an ahistorical view of science.

Resumo

Esta pesquisa teve o objetivo de analisar a História da Ciência em torno da elucidação do conceito de *crossing-over* nos oito livros-texto de Biologia indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2012. As informações históricas analisadas pertencem ao campo da Genética, que abriga tópicos difíceis de serem ensinados e aprendidos, com obstáculos epistemológicos próprios. Também é conhecida a limitação na compreensão da natureza da informação Genética pelos alunos. A análise qualitativa dos livros investigados seguiu os critérios de avaliação de livros-texto de Ciências da Natureza e suas Tecnologias descritos pelo PNLD. O resultado do estudo mostra que a História da Ciência analisada não parece contribuir para o cumprimento dos objetivos dos Parâmetros Curriculares Nacional (PCN). A abordagem histórica relacionada ao conceito *crossing-over* presente nos livros-texto analisados dificilmente pode dar aos alunos uma ideia adequada de como a ciência se desenvolve e como os cientistas trabalham, não contribuindo para superar uma visão a-histórica da ciência.

Palavras-chave:

Historia de la Genética, Enseñanza de las Ciencias, libro de texto
História da Genética, Ensino de Ciências, livro-texto
History of Genetics, Science Teaching, textbook

Introdução

Esta pesquisa teve o objetivo de analisar a História da Ciência (HC) do conceito de *crossing-over* nos oito livros-texto de Biologia indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2012. Com isso, foi apontada a diversidade e a complexidade na apresentação do conceito e também apontar equívocos históricos apresentados nos livros.



As informações históricas analisadas pertencem ao campo da Genética, que abriga tópicos difíceis de serem ensinados e aprendidos, com obstáculos epistemológicos próprios. Também é conhecida a limitação na compreensão da natureza da informação Genética pelos alunos, e o nível de confusão em relação às estruturas biológicas básicas, como célula, cromossomo e gene, e suas inter-relações. A delimitação de um conceito foi necessária para assegurar uma análise aprofundada. Por sua vez, esse tópico foi escolhido devido à sua relevância no ensino da Genética clássica e sua relação com temas atuais como: mapas genéticos e aumento da variabilidade gênica.

História do conceito

A partir do início do século XX, após a “redescoberta” do trabalho de Gregor Mendel (1822-1884), vários cientistas encontraram casos em que as características eram herdadas de forma independente conforme Mendel descrevera nos cruzamentos de variedades das ervilhas do gênero *Pisum*. Entretanto, também foram encontrados casos em que isso não ocorria, mas as características eram herdadas associadas, contrariando o princípio mendeliano da segregação. Os cientistas procuraram explicações para características que eram herdadas associadas, ou mesmo para a recombinação de características. Nem sempre essas explicações se basearam em estudos citológicos ou envolviam cromossomos, muitas delas se baseavam apenas nas evidências Genéticas (resultados dos cruzamentos experimentais). Naquela época, muitos cientistas rejeitavam a hipótese cromossômica que associava os princípios mendelianos ao comportamento dos cromossomos durante a divisão celular porque ela apresentava muitos problemas e poucas evidências que a substanciassem (Martins, 1997).

O naturalista inglês William Bateson (1861-1926) dedicou-se, a partir de 1900, a testar se os princípios encontrados por Mendel nos cruzamentos de variedades de ervilhas do gênero *Pisum* se aplicavam a outros organismos, tanto animais como vegetais. Embora Bateson admitisse que os fatores mendelianos fossem os portadores das características hereditárias não considerava que esses fatores estivessem alocados nos cromossomos.

Em 1902, trabalhando com cruzamentos experimentais na planta *Matthiola*, Bateson e sua colaboradora Edith R. Saunders (1865–1945) observaram que algumas características eram herdadas juntas, mas, inicialmente, apenas relataram o ocorrido, mas não propuseram uma explicação (Bateson e Saunders, 1902: 68-81). Mais tarde detectaram o mesmo fenômeno nas ervilhas de cheiro (*Lathyrus odoratus*). Havia uma associação entre a cor das flores e o formato do pólen (Bateson, Saunders e Punnett, 1905: 89). Essa associação de características que eram herdadas juntas contrariava o princípio da segregação independente de Mendel.

Também em 1902, o botânico alemão Carl Erick Correns (1864-1933) que trabalhava com cruzamentos experimentais em *Matthiola* e outras plantas, considerou que os fatores mendelianos¹ poderiam ser transportados pelos cromossomos. Ele representou os cromossomos como uma espécie de colar de contas em que cada conta corresponderia a um fator (Sturtevant, [1965] 2001: 35-36; Martins, 1997, cap. 3: 42)². Correns ainda utilizou esse mesmo modelo para explicar a recombinação, através de trocas de partes entre os cromossomos, semelhante ao que conhecemos atualmente como permuta (*crossing-over*) (Sturtevant, [1965] 2001: 36).

Um ano depois o botânico holandês Hugo de Vries (1848-1933) sugeriu que poderia haver um intercâmbio das unidades dos cromossomos parentais durante a prófase I da meiose (Mayr, 1982:764).

Anos mais tarde, em 1907-1908, Bateson e Reginald Punnett (1875-1967) interpretaram a associação entre fatores, supondo que os fatores poderiam exercer atrações entre si e isto estaria relacionado com sua hipótese da presença-ausência. De acordo com essa hipótese, o alelomorfismo não seria constituído por fatores separados para as características dominantes e recessivas, mas sim pela presença de algo que constituiria a característica dominante, ausente nos gametas recessivos (Bateson, 1907; Martins, 1997, cap. 5: 6).



Em 1909 Franz Alphonso Janssens (1865-1924), em seu estudo citológico sobre a espermatogênese em *Batrachoseps attenuatus* (uma espécie de salamandra) propôs a “teoria da quiasmática”. Ele observou que, durante o processo que chamamos atualmente de meiose eram vistos cromossomos duplos (“díades”) formando uma espécie de anel. Suas extremidades pareciam estar ligadas. Imaginou que nesses pontos havia realmente uma união física e que o mesmo acontecia em cada ponto em que eles se cruzavam, os quais ele chamou de “quiasmas”. Janssens afirmou que de um modo geral, os cromossomos se tocavam de fato nos quiasmas e podiam trocar partes de seus filamentos com os seus homólogos (Janssens, 1909: 399-401).

O zoólogo norte-americano Thomas Hunt Morgan (1866-1945) que até 1910-1911 era um forte opositor das teorias mendeliana e cromossômica, mudou de ideia adotando uma linha neo-mendeliana em suas pesquisas com *Drosophila* (Allen, 1978). Nas investigações sobre a Genética dessa espécie de mosca, juntamente com seus colaboradores Alfred Henry Sturtevant (1891-1970); Herman Joseph Muller (1890-1967) e Calvin Blacjkmán Bridges (1889-1938), Morgan encontrou vários casos em que determinadas características eram herdadas juntas. Eles chamaram o fenômeno de *linkage* (ligação). Tratava-se do mesmo fenômeno que Correns, Bateson e Punnett haviam observado em outros organismos e que Bateson havia chamado de *coupling* (associação). Para explicar tanto a associação de características como sua recombinação, Morgan e seu grupo deram uma explicação diferente de Bateson e que envolvia cromossomos (Martins, 1997).

No início de suas investigações, Morgan e colaboradores não fez estudos citológicos. A metodologia utilizada por eles se baseava na análise de cruzamentos experimentais. Por exemplo, ao cruzar moscas de olhos brancos e asas longas com outras contendo olhos vermelhos e asas rudimentares eles obtiveram, em F₂, moscas de olhos brancos e asas rudimentares e perceberam que isso só ocorria nas fêmeas (Sturtevant, 1913: 44). A partir dos resultados, os Morgan considerou que, realmente, os cromossomos homólogos trocavam partes, concluindo que:

Em consequência, os materiais originais que estiverem localizados mais proximamente irão cair do mesmo lado da separação, enquanto que os materiais localizados a distâncias maiores tenderão a se localizar em lados opostos. Consequentemente, iremos encontrar associação de determinados caracteres, e pouca ou nenhuma evidência de associação entre outros caracteres; a diferença dependerá da distância entre os materiais que representam os fatores [...]. Os resultados são um simples resultado mecânico da localização dos materiais no cromossomo, e do método de união dos cromossomos. [...] A citologia fornece o mecanismo solicitado pela evidência. (Morgan, 1911: 384)

O problema é que Morgan e seu grupo não tinham feito um estudo citológico em *Drosophila*, e se basearam em evidências obtidas em um organismo diferente, a salamandra. As evidências que eles tinham disponíveis para *Drosophila*, tanto do *linkage* como do *crossing-over* eram os resultados de cruzamentos experimentais, portanto evidências indiretas. Este aspecto provocou críticas por parte de vários pesquisadores como Bateson, por exemplo (Bateson, 1916).

Partindo da hipótese de que os fatores estavam localizados linearmente nos cromossomos e que a distância entre os fatores era proporcional à frequência de *crossing-over* entre eles, Sturtevant produziu os primeiros mapas cromossômicos. Embora as previsões feitas com relação às distâncias curtas dessem certo, o mesmo não se aplicava para distâncias maiores (Sturtevant, 1913).

Em 1916, Hermann Joseph Muller (1890-1967) publicou um artigo em quatro partes sobre o *crossing-over*. Ao contrário de Sturtevat, ele não afirmou que a distância entre dois fatores era proporcional à frequência de permuta entre eles, mas que a relação poderia ser de proporcionalidade para pequenas distâncias. No entanto, no caso de distâncias maiores o ponto central não seria a



proporcionalidade, mas sim a existência de alguma lei matemática que relacionasse distância e frequência de permuta, de modo que permitisse fazer previsões a partir dos mapas cromossômicos (Muller, 1916: 21).

Também foi relevante, em relação ao que havia antes, a correlação entre os comprimentos dos cromossomos de *Drosophila* e as distâncias máximas calculadas para os quatro grupos de ligação. Ao invés de se referir ao número de fatores encontrados nos vários grupos de ligação, ele considerou o tamanho máximo do mapa correspondente a cada grupo de ligação e fez várias considerações a respeito (Martins, 1997, cap. 6: 11-14).

Para explicar os casos em que as previsões não davam certo o grupo de Morgan havia recorrido à interferência ou permutas duplas (Mayr, 1982: 766) que na realidade eram hipóteses *ad-hoc*. Muller procurou analisar os casos anômalos. Para isso, desenvolveu experimentos que envolviam um número grande de fatores.

Para realizar tais experimentos, ele reuniu, em um mesmo indivíduo um número grande de alelos mutantes. Assim, ele produziu fêmeas heterozigotas (F_1) para muitos fatores, e como os alelos mutantes eram normalmente recessivos, tais fêmeas eram tão viáveis quanto as normais (selvagens). Essas fêmeas eram cruzadas com machos homozigotos para os fatores dominantes (normais), e assim toda a descendência (F_2) tinha aparência homogênea, apresentando os caracteres dominantes. Todos deveriam ter, portanto, a mesma viabilidade. É claro que na geração F_2 não era possível descobrir quais fatores estavam presentes em cada indivíduo. Por isso cada mosca F_2 era separada em uma garrafa diferente e cruzada com indivíduos que contivessem os fatores recessivos. Assim em F_3 seria possível descobrir a constituição de cada indivíduo da F_2 (Martins, 1997, cap. 6: 23).

O processo de produção das moscas heterozigotas para muitos fatores foi complicado, pois era necessário adicionar um fator heterozigoto de cada vez. Muller conseguiu obter fêmeas heterozigotas para 22 fatores mutantes, sendo 12 do grupo I (ligados ao sexo) e 10 do grupo II. Os experimentos, envolvendo cerca de 712 fêmeas, mostraram que os *crossing-over* nos dois grupos eram independentes entre si, isto é, não havia ligação entre os fatores do primeiro e do segundo grupos (Muller, 1916).

Com relação ao *crossing-over* duplo, Muller assim se expressou:

Os resultados mostram diretamente o fato que os fatores se comportam como se estivessem unidos em uma cadeia. Quando ocorre o *crossing-over*, os fatores ficam juntos em seções de acordo com seu lugar na sequência e não são trocados individualmente. O fato é mostrado tão obviamente que não requer mais comentários. (Muller, 1916: 366).

Muller analisou se as permutas duplas ocorriam em distâncias ao acaso, ou se ocorriam mais frequentemente a certas distâncias. A análise não era muito direta, pois alguns dos fatores estavam bastante próximos, e outros estavam muito afastados. Por isso era geralmente difícil estimar a distância em que haviam ocorrido as permutas duplas (Muller, 1916).

Com relação à ocorrência de um permuta poder interferir na ocorrência de outra permuta (a interferência), Muller considerou que:

Num certo sentido a ocorrência de um permuta interferir na ocorrência de outra permuta ocorrer num mesmo par de cromossomos, fenômeno que tenho chamado de "interferência.", a quantidade de interferência é determinada por comparação da porcentagem real da permuta dupla com a porcentagem esperada se as permutas fossem independentes. (Muller, 1916: 288).

As pesquisas sobre a ocorrência do *crossing-over* continuaram. Autores como A. H. Trow e John B. S. Hadane (1892-1964) forneceram as ferramentas matemáticas que eliminaram as discrepâncias para longas distâncias (Martins, 1997, cap. 6). No entanto, até o final da década de 1920 não havia sido



fornecida a evidência citológica do *crossing-over*. Edmund Beecher Wilson (1856-1939), citologista e especialista em cromossomos comentou em 1925, que não havia sido obtida a evidência citológica da ocorrência do *crossing-over* na meiose (Sturtevant, [1965] 2001: 77). Isso só veio acontecer mais tarde, na década de 1930.

Em 1931 Harriet Creighton (1909-2004) e Barbara McClintock (1902-1992), publicaram um trabalho no qual apresentaram evidências citológicas do *crossing-over*. Esse trabalho foi realizado com uma estirpe de milho (*Zea mays*) e as evidências apontaram para o fato de que a ocorrência citológica do *crossing-over* é acompanhada pelo *crossing-over* genético. Essa análise citológica foi possível graças à utilização de cromossomos homólogos morfologicamente distinguíveis. Essa distinção era possível por haver um nódulo visível na extremidade de um dos cromossomos. O nódulo foi encontrado no braço curto do cromossomos 9 (segundo menor cromossomo) (Creighton e McClintock, 1931: 492). As autoras assim explicaram:

Se uma planta que possui nódulos nas extremidades de dois cromossomos homólogos, for cruzada com uma planta sem nódulos, as observações citológicas mostram que nos indivíduos da F1 apresentam apenas um cromossomo, do par homólogo, com o nódulo. Quando é realizado um cruzamento teste com indivíduos da F1, metade dos descendentes é heterozigoto para o nódulo e metade não possui o nódulo. (Creighton e McClintock, 1931: 492)

Dentre as pesquisas que contribuíram para o esclarecimento do mecanismo do *crossing-over* e suas implicações para a teoria cromossômica da herança, podemos mencionar a de Curt Stern (1902-1981). Assim como Creighton e McClintock, em 1931, Stern apresentou um trabalho com evidências citológicas do *crossing-over*, porém, Stern trabalhou com *Drosophila* (Stern, 1931). Esse dois trabalhos contribuíram para responder a um dos questionamentos feitos por Bateson e outros autores nas décadas anteriores.

A História da Ciência nos livros-texto

Sendo o livro-texto a principal ferramenta de trabalho e, muitas vezes a fonte de informação técnica acessada pelos professores brasileiros (Gilge e Prestes, 2013: 177), é essencial que esses materiais apresentem o conteúdo de forma a atender os objetivos dos PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais) para o ensino de ciências. Dessa forma, o PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) espera que os livros-texto de Biologia, auxiliem:

...na construção de uma visão de que o conhecimento biológico e as teorias em Biologia se constituem em modelos explicativos, elaborados em determinados contextos sociais e culturais, superando a visão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes. (Brasil, 2011: 10)

Para atender a alguns dos objetivos do PNLD, a História da Ciência (HC) é tida como ferramenta importante, na medida em que promove a humanização dos conteúdos científicos integrados aos aspectos éticos, culturais, econômicos e políticos da sociedade (Matthews, 1994, pp. 49-50). Além disso, também é atribuído à HC o papel de promover uma compreensão mais elaborada das Características da Ciência (CdC). O conhecimento de episódios históricos de uma disciplina científica conduz os estudantes a compreenderem aspectos relacionados à construção do conhecimento científico, que permitem compreendermos a alteração do conhecimento ao longo do tempo e as influências sociais, morais, éticas e culturais envolvidas nesse processo (Silva e Martins, 2003: 54-55).

A utilização da HC como um recurso didático é cada vez mais observada em artigos, livros e conferências da área. A inclusão de um capítulo especialmente dedicado a esse tema no *Internacional*



*Handbook of Science Education*³, mostra essa atenção (Matthews, 2003). Também a presença de temas da HC em livros didáticos é cada vez mais recorrente nos livros-texto brasileiros (Gilge e Prestes, 2013: 176).

Há, contudo, de se tomar cuidado, pois episódios históricos ausentes ou mal retratados no ensino podem levar a concepções bastante equivocadas acerca da atividade científica, criando uma pseudo-história (Allchin, 2004: 179). Isso pode ocorrer devido a eventuais erros conceituais nos livros-texto e onde a HC é apresentada apenas com ilustrações, desconexas do texto, dos acontecimentos e relatos sobre cientistas que contribuíram para o desenvolvimento de determinado conhecimento científico (Santos, 2006: 28). A HC nos livros-texto também aparece dentro de seções delimitadas, conhecidas por *boxes*. Esse posicionamento, intuitivamente, diminui a importância da informação ali contida, além de, estar descontextualizado do restante do conteúdo e constituir um acréscimo desnecessário de informação (Bittencourt, 2013: 25-26).

Além dessas preocupações, é necessário ressaltar que o efeito do uso da HC na educação científica depende principalmente de como ela é utilizada. Como os professores, geralmente, não possuem formação sobre a HC, é provável que a história que ensinam nas aulas de ciências seja a encontrada nos livros-texto. Assim, é necessário que o conteúdo histórico de livros-texto seja analisado e melhorado, a fim de que a HC incluída neles contribua para um ensino que atenda às recomendações curriculares (Leite, 2002: 343).

Com o objetivo de focar a pesquisa em um episódio histórico, foi investigada a parte histórica de um conteúdo de Genética, a discussão sobre a elucidação do conceito do *crossing-over*, conceito este envolvido diretamente na discussão e aceitação da teoria cromossômica da hereditariedade.

A escolha desse conteúdo ainda traz peculiaridades específicas do ensino de Genética. A Genética é uma das áreas do conhecimento de difícil compreensão por parte dos alunos, devido à complexidade dos fenômenos a que se refere. Também é conhecida a limitação na compreensão da natureza da informação Genética pelos alunos, e o nível de confusão em relação às estruturas biológicas básicas, como célula, cromossomo e gene, bem como suas inter-relações. Tal dificuldade encontrada pelos alunos está relacionada ao fato de que muitos conceitos de Genética exigem alto grau de abstração (Lewis, Woodrobinson, 2000: 177; Tsui, Treagust, 2003: 96; Schneider et al, 2011: 202, Bittencourt e Prestes, 2011: 2). No entanto, apesar da dificuldade de compreensão, a Genética ocupa grande espaço nos atuais debates biológicos e sociais, e está relacionada às questões sociais, como as pesquisas genômicas, a clonagem, utilização de células-tronco para diversos fins e a utilização de organismos transgênicos.

Para discutir essa problemática, é objetivo desta pesquisa analisar o conceito *crossing-over* e as características e a qualidade da informação histórica contida nos livros de Biologia, com relação ao conceito de *crossing-over*, aprovados pelo PNLD-2012. Com a melhoria do conteúdo histórico será possível fazer com que a HC contida nos livros-texto acrescente informação pertinente ao aluno. Assim ela deve estar relacionada ao restante do texto e trazer elementos que superem a visão a-histórica da ciência e proporcione ao aluno a compreensão das características da construção do conhecimento científico, e também ajudar a compreender os conceitos em si.

Livros-texto analisados

Os livros-texto analisados fazem parte da coleção de oito livros de Biologia aprovados pelo PNLD-2012. Esses livros foram aprovados, após passarem pela avaliação do Ministério da Educação (MEC), sendo assim, esperasse que atendam aos objetivos de ensino propostos nos PCN. A relação dos livros analisados e as siglas que foram utilizadas para suas referências, são:



Sigla	Referência do livro-texto
LT1	BIZZO, Nélio. <i>Novas Bases da Biologia – vol. 3</i> . Editora Ática, 1º edição, 2010.
LT2	CATANI, André; BANDOUK, Antônio C.; CARVALHO, Elisa G.; SANTOS, Fernando S.; AGUILAR, João B. V.; SALLES, Juliano V.; OLIVEIRA, Maria M. A.; NAHAS, Tatiana R.; CAMPOS, Silvia H. A.; CHACON, Virgínia. <i>Ser Protagonista – Biologia – vol. 3</i> . Editora Edições SM, 2010.
LT3	JÚNIOR, César da Silva; SASSON, Sezar; CALTINI JÚNIOR, Nelson. <i>Biologia – vol. 3</i> . Editora Saraiva, 2010.
LT4	LINHARES, Sérgio V.; GEWANDSNAJDER, Fernando. <i>Biologia Hoje – vol. 3</i> . Editora Ática, 2008.
LT5	LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. <i>Bio – vol. 2</i> . Editora Saraiva, 2010.
LT6	MARTHO, Gilberto R.; AMABIS, José M. <i>Biologia – vol. 3</i> . Editora Moderna, 2010.
LT7	MENDONÇA, V.; LAURENCE, J. <i>Biologia Para A Nova Geração – vol. 3</i> . Editora Nova Geração, 2010.
LT8	PEZZI, Antônio C.; GOWDAK, Demétrio; MATTOS, Neide S. <i>Biologia – vol. 3</i> . Editora FTD, 2010.

Crîtérios de análise

A análise qualitativa dos livros investigados seguiu os critérios de avaliação de livros-texto de Ciências da Natureza e suas Tecnologias descritos pelo PNLD. Foram destacados dois dos critérios apresentados na ficha de avaliação quanto à correção e atualização de conceitos, informações e procedimentos presentes na obra:

- se apresenta de modo correto, contextualizado e atualizado conceitos, informações e procedimentos;
- se apresenta o conhecimento biológico de modo a superar a compreensão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes (Brasil, 2011: 13).

Esses critérios foram definidos com o objetivo de avaliar se:

As obras auxiliam na construção de uma visão de que o conhecimento biológico e as teorias em Biologia se constituem em modelos explicativos, elaborados em determinados contextos sociais e culturais, superando a visão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes. (Brasil, 2011: 10)

Resultados e discussão

Nome e definição do conceito

Com relação ao conceito, foram observadas diferenças entre as definições. Nos LT2, LT3, LT4, LT7 e LT8 pode ser lido que o *crossing-over* (ou permuta) ocorre entre cromátides homólogas. No LT6 (p. 108) pode ser lido que o *crossing-over* é decorrente de “quebras e trocas de pedaços entre cromátides entre cromossomos homólogos”. O LT1 simplifica o conceito e afirma que: “a permuta significa a troca de segmentos entre cromossomos homólogos” (LT1: 150). Já o glossário do LT2 traz a definição de “permutação (*crossing-over*) como a troca de partes de cromatina contendo genes que ocorre entre cromossomos homólogos durante a formação dos gametas”.



Para explicar o processo de *crossing-over*, o LT5 traz a informação mais completa:

Após a duplicação dos cromossomos na interfase, inicia-se a meiose I com condensação e o emparelhamento dos cromossomos homólogos. Na prófase I, pode ocorrer quebra em duas cromátides homólogas na mesma altura, seguida da troca de suas partes. Esse processo denomina-se permutação ou crossing-over. Por causa da troca de segmentos ocorre a recombinação dos genes, o que aumenta a variabilidade Genética. (LT5: 318)

O excesso de simplificação do conceito dificulta a compreensão do momento em que ocorre o evento. Dificulta também o estabelecimento de uma relação entre o estudo do conceito e as fases da prófase da meiose I, um conteúdo também estudado no Ensino Médio. Outro prejuízo que a simplificação pode provocar é a omissão do fato de o *crossing-over* ocorrer entre cromátides homólogas. Com essa informação seria possível perceber que os cromossomos já foram duplicados (na interfase), e novamente, permitiria fazer relações com o conteúdo divisão celular.

Há também grande variação quanto ao nome do conceito, aparecendo: *crossing-over*, *crossing*, *permuta*, *permutação* e *sobrecruzamento*. Destacamos a tradução para o termo *sobrecruzamento*, encontrado apenas no LT4.

Quanto ao estágio da meiose no qual ocorre o *crossing-over*, nenhum dos livros analisados especificou ocorrer na fase paquíteno. O livro LT1 apenas apresenta ocorrer durante a formação dos gametas; nos LT5 e LT6 afirma ocorrer na meiose e os LT2, LT3, LT4, LT7 e LT8 contém a informação mais completa, apresentando que o *crossing-over* ocorre durante a prófase I da meiose. No LT8 há a seguinte definição:

Na prófase I da meiose há permuta, ou crossing-over, entre genes ligados, isto é, troca de pedaços entre duas cromátides homólogas e, em consequência, a formação de gametas recombinantes, o que não ocorre na ligação fatorial completa. (LT8: 33)

Nesse parágrafo, a utilização da palavra “há”, pode fornecer a impressão de ser um evento obrigatório. Destaca-se que, em um trecho anterior do mesmo livro (LT8), há a informação de que o *crossing-over* pode ou não ocorrer.

A HC no conteúdo sobre *crossing-over*

O LT7 possui um parágrafo, no meio de capítulo dedicado à história da ciência. Ele informa que Morgan fez pesquisas com *Drosophila*. No parágrafo é citado o nome de Morgan quando traz a informação sobre a unidade de medida “morganídeo”. O LT4 faz referência à Morgan também quando se refere à unidade de medida “morganídeo”, fornecendo o nome alternativo “centimorgan”. Os dois livros não informam ano de nascimento e morte de Morgan e nem o período histórico no qual aconteceram as pesquisas.

O LT4 também faz uma referência histórica apenas no final do capítulo em dois *box*, com os títulos: “Thomas Morgan e a ligação gênica” e “Mendel e a ligação gênica”. Os três trazem a parte histórica do meio para o final do capítulo.

Os LT1, LT2, LT5 e LT8 apresentam e discutem o conceito do *crossing-over* evidenciando pesquisas realizadas que permitiram a formulação do conceito. Ao longo de grande parte do capítulo essa referência histórica é feita.



O LT3 apresenta uma introdução sobre as pesquisas que Morgan e seu grupo desenvolveram, e que permitiram complementar as ideias de Mendel. Outra referência histórica aparece no final do capítulo, quando atribui à Morgan a observação de que alguns “genes” são herdados juntos, isto é, em *linkage*.

A pesquisa sobre herança de fatores em um mesmo cromossomo

Os LT4, LT6, LT7 apresentam um exemplo de herança de genes em um mesmo cromossomo, utilizando os dados de uma pesquisa semelhante à realizada por Morgan. Na pesquisa de Morgan é observado o resultado da herança entre duas características em um mesmo cromossomo, a saber: entre diferentes tipos de asas e cor do corpo. Porém, nesses livros não é feita qualquer referência de que Morgan tenha elaborado essa pesquisa.

Os LT2, LT5 e LT8 atribuem a Morgan o experimento com *Drosophila*. Apenas o LT5 ainda aponta o cruzamento, entre macho cinza e com asas e fêmea negra e sem asas, com o qual foi possível observar a ausência de crossing-over nos machos de *Drosophila*. Apesar de apresentar esse experimento de cruzamento, o LT8 não diz que, a partir dele, Morgan sugeriu que não ocorreria crossing-over em *Drosophila* macho. O LT5 diferencia entre cor do corpo preta e castanho para exemplificar o experimento, e não cor do corpo preta e cinza, como pesquisado por Morgan. Vale ressaltar que para esses mesmos caracteres os livros-texto apresentados nesse parágrafo apresentam diversas porcentagens de heranças. Os LT5 e LT6 são os que apresentam porcentagem mais próxima das obtidas por Morgan.

Os LT1 e LT3 não utilizam como exemplo a herança de cor do corpo e tipo de asa em *Drosophila*. Para apresentarem a herança de caracteres em um mesmo cromossomo são utilizados exemplos hipotéticos.

Utilização de termo anacrônico - gene

Foi evidenciada uma relação anacrônica importante nos LT2, LT3, LT5, LT6 e LT8. Eles utilizam o termo *gene* quando se referem às pesquisas históricas. Na época das pesquisas que resultaram na definição do conceito do *crossing-over*, realizadas por Morgan e contemporâneos durante as primeiras duas décadas do século XX, os pesquisadores utilizavam o termo *fatores* para se referir a algo, desconhecido até então, que permitia a transmissão das características aos descendentes. Assim, o termo gene não deveria estar nas explicações históricas para o desenvolvimento deste conceito⁴.

Outros equívocos históricos

O LT6 apresenta algo que não aconteceu. No livro é informado:

Foi Morgan também quem lançou a hipótese de que a ligação entre genes localizados em um mesmo cromossomo não é completa porque, durante a meiose, ocorrem quebras e trocas de pedaços entre cromátides de cromossomos homólogos. (LT6: 108)

Morgan e seus colaboradores não utilizavam o termo gene e sim “caracteres”. Afirmar que durante a meiose ocorrem quebras e troca de pedaços entre cromátides dá a entender que Morgan teria observado esse fenômeno a partir de observações citológicas, como se a visualização citológica justificasse a hipótese do crossing-over. Na verdade, Morgan concluiu que alguns caracteres poderiam ser herdados juntos a partir de seus resultados de cruzamentos. Em 1911 Morgan afirma:

Encontramos troca de certos caracteres, e pouca ou nenhuma evidência de troca, em outros caracteres, a diferença depende da distância linear dos materiais cromossômicos que representam os fatores. Ao invés da segregação aleatória, no sentido dado por Mendel, encontramos "associações de fatores" localizados próximos, uns aos outros, nos cromossomos. (Morgan, 1911)



A confirmação citológica do que há uma troca de pedaços entre cromossomos ocorreu apenas com Harriet Creighton e Barbara McClintock em 1931, como apontado anteriormente.

O LT4 diz que Morgan teria observado desvios em relação à variação genotípica. Na verdade, devido aos recursos da época e aos estudos de cruzamentos, ele apenas poderia observar variações fenotípicas, termo que nem era utilizado na época, bem como o termo “genotípica”. Na página 94 do LT4 pode ser lido:

Estudando drosófilas, Thomas Morgan encontrou desvios em relação à proporção genotípica mendeliana no cruzamento que relacionava a cor dos olhos – púrpura/vermelho – e o tamanho da asa – longa/vestigial. (LT4: 94)

O LT4 também apresenta um anacronismo semelhante, porém utiliza o termo *proporção genotípica* no seguinte trecho:

Estudando drosófilas, Thomas Morgan encontrou desvios em relação à proporção genotípica mendeliana no cruzamento que relacionava a cor dos olhos – púrpura/vermelho – e o tamanho da asa – longa/vestigial. (LT4: 94)

O LT4 considera que a recombinação gênica é sinônima de *crossing-over*. A recombinação gênica é o resultado de um *crossing-over*, porém há ainda outros mecanismos que geram uma recombinação gênica, como exemplos podem ser citadas: a transformação, a transdução, a conjugação que são amplamente conhecidas em bactérias e a clonagem realizada artificialmente.

Uma característica encontrada na parte histórica de praticamente todos os livros é a atribuição apenas a Morgan, ou por vezes a Morgan e colaboradores, dos resultados de pesquisas de diversos pesquisadores, como Hugo de Vries, William Bateson, Reginald C. Punnett, Franz Alphons Janssens.

Conclusão

Com relação às definições do conceito, seria interessante uma revisão por parte dos autores de livros-texto, a fim de facilitar e melhorar a compreensão por parte do aluno. Para isso seria necessário discutir e pesquisar, principalmente, se o excesso de simplificação prejudica o aprendizado. Também se deve tomar cuidado com as várias traduções do nome do conceito, que podem prejudicar a aprendizagem caso os alunos utilizem diferentes referências.

O resultado do estudo mostra que a abordagem histórica relacionada ao conceito *crossing-over* presente nos livros-texto analisados, não é diferente dos reportados por outros autores (tais como Leite, 2002; Bittencourt, 2013; Gilge e Prestes, 2013). Assim, dificilmente ela pode dar aos alunos uma ideia adequada de como a ciência se desenvolve e como os cientistas trabalham. A HC reportada não mostra como a ciência depende do pensamento, criatividade e trabalho dos cientistas, bem como não evidencia a influência que a ciência sofre dos fatores externos, como cultura, religião, política, economia, etc.

A HC incluída nos trechos dos livros-texto analisados (biografias, principalmente de cientistas e menções a descobertas da ciência) não parecem contribuir para o cumprimento dos objetivos dos PCN e PCN+, e também não atendem os critérios de avaliação de livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias descritos pelo PNL D.



O Guia de livros para o Ensino Médio do PNLD destaca que:

Em síntese, pode-se expressar que as obras desse Guia apresentam a seguinte configuração: 1 - Apresentam correção conceitual e informações científicas atualizadas; [...] 3 - Exploram a dimensão histórica do conhecimento biológico. (Brasil, 2011: 23)

Acreditamos que, mesmo sendo um dos critérios do PNLD, a utilização da História da Ciência para superar uma visão a-histórica da ciência fique a critério dos autores. Porém, como a maioria dos livros analisados faz referência aos personagens e momentos históricos envolvidos na construção do conceito analisado, a história apresentada está apenas ilustrando o conteúdo, não contribuindo para superar uma visão a-histórica. Essa superação auxiliaria a obtenção de uma concepção mais ampla das características da construção do conhecimento científico.

Referências

- ALLCHIN, D. (2004). Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, XIII, 3, 179-195.
- ALLEN, Garland E. (1978). *Thomas Hunt Morgan. The man and his science*. Princeton: Princeton University.
- BATESON, William. (1907) Facts limiting the theory of heredity. *Science*, XXVI.
- BATESON, W. (1916). Review of Morgan et al., The mechanism of Mendelian heredity. *Science*, XLIV, 536-543.
- BATESON, William; SAUNDERS, Edith R; PUNNETT, Reginald Crundall. (1905). Experimental studies in the physiology of heredity. *Reports to the Evolution Committee of the Royal Society*, I, 1-131.
- BATESON, W.; SAUNDERS, E. R. (1902). Experimental studies in the physiology of heredity. *Reports to the Evolution Committee of the Royal Society*, I, 1-160.
- BITTENCOURT, Fabrício B. (2013). O tratamento dado à história da biologia nos livros didáticos brasileiros recomendados pelo PNLEM-2007: análise das contribuições de Gregor Mendel. Dissertação de mestrado em ciências, área de concentração Ensino de Ciências na Universidade de São Paulo. São Paulo.
- BITTENCOURT, Fabrício B.; PRESTES, Maria E. B. (2011). Análise da disposição das informações acerca da história da genética nos livros didáticos aprovados no PNLEM-2007. In: *V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia (EREBIO-SUL) IV Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education (ICASE)*.
- BRASIL. (2011). *Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Guia de livros didáticos - PNLD 2012: Biologia, Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação.
- CREIGHTON, Harriet B.; McCLINTOCK, Barbara. (1931). A correlation of cytological and genetical permuta in Zea Mays. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, XVII, 485-497.
- GILGE, Marcelo V.; PRESTES, Maria E. B. (2013). Ernst Haeckel nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2012. In: *Caderno de Resumos do Encontro de História e Filosofia da Biologia 2013*. Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia, Florianópolis.
- JANSSENS, F. A. (1909). La théorie de la chiasmotypie. *La Cellule*, XXV, 389-411.
- LEITE, Laurinda. (2002) History of Science education: development and validation of a checklist for analyzing the historical content of Science textbooks. *Science and Education*, XI, 2, 333-359.
- LEWIS, J.; WOODROBINSON, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, XXII, 177-195.



- MARTINS, Lilian A-C. P. (1997). *A Teoria Cromossômica da herança: Proposta, Fundamentação, Crítica e Aceitação*. Tese para obtenção do título de doutor em ciências, área de concentração de genética e evolução na Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.
- MATTHEWS, Michael. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- MATTHEWS, M. (2003). History and philosophy of science. In: FRASER, Barry J.; TOBIN, Kenneth G. (Ed.). *International handbook of Science Education: Part Two*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 981-1123.
- MAYR, Ernst. (1982). *The Growth of Biological Thought: diversity, evolution and inheritance*. Cambridge: Harvard University Press.
- MORGAN, Thomas H. (1911). Random Segregation Versus Coupling in Medelian Inheritance. *Science*, XXXIV, 384.
- MULLER, Hermann J. (1916) The mechanism of crossing-over. *The American Naturalist*, L, 193-221, 284-305, 350-366, 421-434.
- SANTOS, C. H. V. dos. (2006). *História e filosofia da ciência nos livros didáticos de biologia do ensino médio: análise do conteúdo sobre a origem da vida londrina*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina. Paraná.
- SCHNEIDER, Eduarda M.; JUSTINA, Lourdes A.; ANDRADE, Mariana A. B.; OLIVEIRA, Thais B.; CALDEIRA, Ana M. A.; MEGLHIORATTI, Fernanda A. (2011). Conceitos de gene: construção histórico-epistemológica e percepções de professores do ensino superior. *Investigações em Ensino de Ciências*, XVI, 2, 201-222.
- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. (2003). A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, IX, 1, 53-65.
- STERN, Curt J. (1931). Zytologisch-genetische Untersuchungen als Beweise für die Morgansche Theorie des Faktorenaustausches. *Biologisches Zentralblatt*, LI, 547-87.
- STURTEVANT, A. H. [1965] (2001). *A History of Genetics*. Electronic Scholarly Publishing Project Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
- STURTEVANT, Alfred H. (1913). The Linear Arrangement of Six Sex-Linked Factors in *Drosophila*, as Shown by Their Mode of Association Reprinted by author's and publisher's permission from *Journal of Experimental Zoology*, XIV, 43-59.
- TSUI, Chi-Yan; TREAGUST, David. (2003). Learning genetics with computer dragons. *Journal of Biological Education*, XXXVII, 2, 96-98.

¹ Durante a primeira década do século XX, a terminologia adotada era “fatores”. Mais tarde, foi adotado o termo “gene”, proposto por Wilhelm Johannsen em 1909-1910 (Martins, 1997, cap. 4: 86).

² Na referência Martins, 1997, cada capítulo é numerado separadamente. Para evitar confusões, optamos por mencionar sempre o número do capítulo e a página correspondente.

³ O *Internacional Handbook of Science Education* é o principal livro na área de educação científica. Os capítulos fornecem levantamentos das pesquisas recentes na área de educação científica, formulados pelos profissionais de reconhecido mérito da área.

⁴ Não obstante o termo gene já ter sido cunhado por Wilhelm Johannsen (1857-1927) em 1909.