

**Análise dos conceitos de genótipo e fenótipo em livros didáticos de Biologia brasileiros
datados de 1950 a 2013**

**Analyses of the concepts of genotype and phenotype in course books from 1950 to
nowadays**

**Análisis de los conceptos de genotipo y fenotipo en libros didáticos de biología
Brasileros fechados de 1950 a 2013**

Recebido: 22/04/2020 | Revisado: 29/04/2020 | Aceito: 04/05/2020 | Publicado: 09/05/2020

Aline Alves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1481-1042>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: nyne_alves@hotmail.com

Lourdes Aparecida Della Justina

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6013-7234>

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

E-mail: lourdesjustina@gmail.com

Alexandre Scheifele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-2756>

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

E-mail: alexandre.scheifele@unioeste.br

Eduarda Maria Schneider

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5142-6608>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: eduardamaria.schneider@gmail.com

Resumo

Com os avanços da genética, em interação com outras áreas de pesquisa, como a fisiologia, a análise comportamental, entre outras, os conceitos de genótipo e fenótipo estão em constante transformação. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa consiste em analisar como os conceitos de genótipo e fenótipo foram apresentados nos livros didáticos de Biologia de 1950

a 2013. Para isso, realizou-se uma análise de conteúdo, baseada em categorização, da década de 1950 a 2013, em que os conceitos foram analisados respeitando-se a época de edição dos livros em que estavam presentes. Dessa forma, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de avaliar como os conceitos estão apresentados nos livros didáticos. Os resultados evidenciam que os conceitos de genótipo e fenótipo presentes nos respectivos livros não acompanhavam a compreensão da comunidade científica de cada época, e que, geralmente, ocorre a demora da transposição didática em relação ao desenvolvimento do conhecimento científico. Assim, entende-se que parte dessa demora é aceitável, pois é muito difícil os livros didáticos serem editados no momento imediato do desenvolvimento das pesquisas científicas. Entretanto, os autores e editores precisam preocupar-se com as atualizações desses conceitos e cuidar para que não haja um distanciamento de décadas entre os conceitos apresentados nos livros em relação às compreensões aceitas pela comunidade científica.

Palavras-chave: Educação em Biologia; Materiais didáticos; Análise de conceitos; História da genética.

Abstract

With the progresses made in the field of genetics in interactions with other areas of research such as physiology, behavior analyses, among others, the concepts of genotype and phenotype are in constant transformation. The goal of this research was to highlight how the concepts of genotype and phenotype were presented in biology textbooks from 1950 to 2013. To do so, we proceeded an analyses of contends, bases upon categorization, from the decade of 1950 to the year of 2013. The concepts were analyzed taking in account the epoch in which the course books were edited. This research justifies itself by the need of evaluating the concepts presented in course books. The results show us that the concepts of genotype and phenotype presented in the course books did not follow the understanding of them by the scientific community of each epoch. There were evidences that generally occurs a longing of time between the didactic transposition of the contends and the scientific knowledge development. One can understand that part of this lack of time is acceptable once it is very difficult to edict course books as fast as or immediately as the scientific researches are developed. However authors and editors must be aware of the need to update such concepts and take care about letting decades of distance between the presented concepts in course books and their real and acceptable understanding by the scientific community.

Keywords: Biology Education; Didactic materials; Concept analyses; History of genetics.

Resumen

Con los avances de la genética en interacción con otras áreas de investigación, como la fisiología, el análisis conductual, entre otros, los conceptos de genotipo y fenotipo están en constante transformación. El objetivo de esta investigación, consiste en analizar como los conceptos de genotipo y fenotipo fueron presentados en libros didácticos de biología de 1950 a 2013. Para eso, realizamos un análisis de contenido, basado en categorización, de la década de 1950 a 2013. Los conceptos fueron investigados respetando la época de edición de los libros en que estaban presentes. Esa investigación está justificada por la necesidad de evaluar como los conceptos de genotipo y fenotipo presentes en los respectivos libros no acompañaban la comprensión de la comunidad científica de cada época. Generalmente ocurre el retraso de la transposición didáctica en relación al desenvolvimiento del conocimiento científico. Se entiende, así, que parte de ese retraso es aceptable, puesto que es muy difícil que los libros didácticos sean editados en el momento del desenvolvimiento de las investigaciones científicas. Entre tanto, los autores y editores necesitan preocuparse con las actualizaciones de esos conceptos y cuidar para que no haya un distanciamiento de décadas entre los conceptos presentados en los libros con relación a las comprensiones aceptadas por la comunidad científica.

Palabras clave: Educación en Biología; Materiales didácticos; Análisis de conceptos; Historia de la genética.

1. Introdução

O livro didático, no contexto brasileiro, é o material selecionado pelo Programa Nacional do Livro Didático e distribuído a todos os estudantes das escolas públicas da educação básica; sendo assim, atua na função de possibilitar aos alunos o contato com o conhecimento científico. Com base nesse compromisso, é necessário que o livro, além de dar um tratamento didático ao saber erudito, também esteja atualizado, conforme os preceitos admitidos pela comunidade científica do momento histórico em que se situa, de modo que facilite a aprendizagem significativa do aluno.

Em 1996, Lajolo destacou, em seu estudo “Livro didático: um (quase) manual de usuário”, a relevância da análise da qualidade dos conteúdos presentes nos livros didáticos a serem utilizados por professores e alunos da educação básica. Nesse sentido, propõe-se realizar, neste trabalho, a análise dos livros destinados ao ensino de Biologia, dando destaque especial aos conceitos de genótipo e fenótipo, uma vez que o entendimento desses conceitos

está interligado ao desenvolvimento histórico do conhecimento da genética e da compreensão da hereditariedade. Desse modo, é importante contextualizar, historicamente, como ocorreu o processo de transmissão das características hereditárias, o qual influenciou a construção desse conceito desde a sua proposição até os dias atuais.

Para tanto, esta pesquisa apresenta, inicialmente, uma retrospectiva histórica sobre como os conceitos de genótipo e fenótipo foram construídos e modificados com o avanço da ciência. Em vista disso, é dado destaque principal à genética molecular, cujo desenvolvimento acarretou várias construções e desconstruções acerca de como os conceitos eram e são atualmente entendidos, tanto no meio científico quanto no social.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar como os conceitos de genótipo e fenótipo são apresentados nos livros didáticos destinados à educação básica. Para cumprir com esse objetivo, propõe-se o seguinte questionamento: Os conceitos de genótipo e fenótipo apresentados nos livros didáticos respeitam os conhecimentos científicos de cada época? Com o intuito de responder a essa indagação, analisou-se como esses conceitos estão apresentados em 74 livros didáticos, datados de 1950 até 2013.

2. Fundamentação Teórica

De acordo com Keller (2002) e Justina (2011), uma das teorias da hereditariedade que iniciou a diferenciação entre genótipo e fenótipo foi a teoria genotípica de Johannsen, em 1909, que propunha a palavra “gene”, no meio científico, na tentativa de diferenciar características herdadas de características aparentes, com a seguinte explicação:

O “gene” não é senão uma palavra pequena e muito aplicável, facilmente aplicada com outras e pode ser utilizada como expressão para “Fatores unitários”, “Elementos” ou “Alelomorfos” nos gametas, demonstrado pela moderna pesquisa de Mendel. Um “genótipo” é a soma total de todos os “genes”, em um gameta ou em um zigoto (...) Todos os tipos de organismos, distinguíveis pela inspeção direta ou por métodos mais sutis de medição e descrição, pode ser caracterizado como “fenótipo” (Johannsen, 1911 pp.132-134, tradução nossa).

Em 1911, Wihelm Ludwig Johannsen publicou, na revista *The American Naturalist*, o artigo intitulado “The genotype conception of heredity”, cujo conteúdo consistia em uma teoria genotípica para a hereditariedade. Porém, antes de a teoria genotípica proposta inicialmente por Johannsen ser aceita pela comunidade científica, muitos conhecimentos precisaram ser postulados. Assim, para possibilitar a compreensão de como foi a construção

dessa teoria, destacar-se-á neste artigo um pouco da história de como se chegou ao conhecimento atual sobre o tema.

Em 1869, Johann Friedrich Miescher (1844-1945) enviou para publicação um trabalho descrevendo a nucleína, composto constituído por uma mistura de ácido nucleico e proteína com altas concentrações de fósforo extraída das células purulentas humanas. Entretanto, o editor da revista, desconfiado dos resultados da pesquisa, decidiu repetir os experimentos. Como resultado, as pesquisas de Miescher foram publicadas somente em 1871 (Snustad & Simmons, 2010).

Mayr (1998) e Snustad e Simmons (2010) destacam que muito tempo se passou até que a nucleína, que naquele momento já havia sofrido mudanças conceituais, sendo denominada ácido nucleico, fosse reconhecida como a responsável pela transmissão das características hereditárias. Em função disso, por um determinado tempo, o estudo dessa molécula ficou a cargo dos químicos. Por volta de 1944, os experimentos de Oswald Avery (1877–1955) e seu grupo forneceram as evidências mais concretas de que o ácido desoxirribonucleico (DNA) era realmente o material genético, apesar de o grupo ser bastante cauteloso ao fazer tal afirmativa.

Como relatado por Batisteti, Araujo e Caluzi (2008), Avery e seu grupo associaram a transformação das bactérias pneumococos, de não virulentas para virulentas, ao DNA. No entanto, não fica claro qual seria a possível função do DNA nesse processo. Mayr (1998) explica que o convencimento de uma parcela da comunidade científica deu-se somente com os experimentos com bacteriófagos, de Alfred Hershey (1908–1997) e Martha Cowles Chase (1927–2003), publicados em 1952, cujos resultados demonstravam que as informações genéticas do bacteriófago encontravam-se no seu DNA. Nesse momento, muitas pesquisas surgiram, tendo como material de análise o DNA.

Entre as pesquisas que se destacavam pelo entendimento de que o DNA era o material genético, encontram-se as que se destinavam a propor um modelo para representar a molécula, como a do químico Linus Pauling (1901–1994), o qual consistia em uma representação de tripla hélice. Porém, o modelo aceito pela comunidade científica, e que perdura até o momento, é o da dupla hélice, proposto por James Dewey Watson e Francis Crick (1916-2004), descrito em um artigo publicado na revista Nature, em 1953. Essa proposição foi construída utilizando-se conhecimentos já existentes na época, como, por exemplo, as ligações de pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas, do bioquímico Erwin Chargaff (1905-2002); a tripla hélice, de Linus Pauling (1901-1994); as cristalografias de raio-X, produzidas por Rosalind Franklin (1920–1958); entre outros.

O modelo apresentado pelos pesquisadores Watson e Crick consistia em uma dupla hélice composta por nucleotídeos. Essas macromoléculas são compostas por um grupo fosfato, um açúcar, conhecido como desoxirribose, e um composto nitrogenado, que recebe o nome de base nitrogenada. Cada fita contém um nucleotídeo e elas se ligam uma à outra por meio de pontes de hidrogênio, as quais ligam uma base nitrogenada à outra. As bases são complementares, sendo que Adenina (A) se liga com a Timina (T) por meio de duas pontes de hidrogênio, e a Citosina (C) se liga à Guanina (G) por meio de três pontes de hidrogênio (Watson & Crick, 1953).

Cinco semanas após a publicação do modelo de DNA, os cientistas Watson e Crick realizaram outra publicação, denominada “Implicações genéticas da estrutura do ácido desoxirribonucleico”, a qual reforçava a ideia de “um gene, uma enzima”, bastante popular na época. Em 1957, Francis Crick tinha evidências suficientes para afirmar que o que formava uma proteína era uma sequência simples de ácido desoxirribonucleico (Keller, 2002).

Bresch e Hausmann (1994) esclarecem que a replicação semiconservativa de Watson e Crick foi confirmada pelos experimentos de Matthew Stanley Meselson e Franklin William Stahl. Segundo Snustad e Simons (2010), os resultados dessa pesquisa foram publicados em 1958 e confirmavam que os cromossomos da bactéria *E. Coli* replicavam-se semiconservativamente. Entretanto, ainda não se sabia se o material da *E. Coli* era uma dupla hélice, aspecto que só foi confirmando em 1962, após John Cairns fornecer evidências de que o cromossomo da *E. Coli* continha um único filamento duplo de DNA.

No final dos anos de 1950, as publicações de Arthur Kornberg (1918–2007) divulgaram a enzima responsável pela replicação do DNA, a “DNA-Polimerase” ou “Enzima de Kornberg” (Bresch e Hausmann, 1994). Atualmente, essa enzima é conhecida como DNA-Polimerase I. No entanto, outras enzimas envolvidas na replicação do DNA foram sendo descritas ao longo do tempo, como o exemplo das DNA-Polimerases II, III, IV e DNA-ligase (Snustad e Simmons, 2010). Essas descrições foram realizadas tanto para procariotos quanto para eucariotos; porém, nos eucariotos as enzimas já passam de vinte.

Com o reconhecimento do DNA como material genético, passa-se a entender que nessa molécula estão presentes os genes caracterizados como unidades concretas. Assim, o genótipo passa a ser entendido como um conjunto de genes que são expressos em fenótipos distintos. Keller (2002, p.67) ressalta, recorrendo às palavras de Francis Crick: “DNA faz RNA, RNA faz proteínas e proteínas fazem nós”. Esse processo consiste em:

Para fazer a molécula de proteína, a dupla hélice do DNA separa-se no local de um gene, e enzimas de transcrição copiam a fita inferior de nucleotídeos em uma fita complementar de mRNA. Onde há um G no DNA, aparece um C no mRNA; onde há um C no DNA, aparece um G no mRNA; onde há um T, aparece um A. No entanto, um A no DNA aparece um U ao invés de um T no mRNA. Consequentemente, a fita molde ou codificadora do DNA tem a mesma sequência do mRNA, exceto pelo T presente no DNA e o U no mRNA. Depois que o mRNA é transportado do núcleo, ele se junta a ribossomos no citoplasma, onde é traduzido. O códon (ou trinca de bases) no mRNA é complementar a um tRNA específico e cada tRNA contém um aminoácido específico para acrescentar a crescente cadeia proteica (Keller, 2002, p.65).

Durante a década de 1960, houve um esforço mútuo no desenvolvimento de pesquisas que tinham o objetivo de entender os códons. Assim, grupos de pesquisa, como o de Marshall Nirenberg (1927–2010) e Heinrich Matthai, em conjunto com outros colaboradores, divulgaram o código genético (Keller, 2002):

Em 1966, o código do DNA ou código genético foi completamente decifrado. Ficou, então, claramente demonstrado que: 1. Todos os aminoácidos nas proteínas são codificados por uma combinação de três bases do DNA, formando um tríplex chamado códon; 2. Um mesmo aminoácido pode ser definido por mais de um códon e, por isso, o código é dito degenerado; 3. Existem três códons que, em vez de determinar a entrada de um aminoácido específico na cadeia polipeptídica, funcionam como o fim de um programa, determinando a interrupção da cadeia que está sendo sintetizada (Farah, 2007, p.25).

Nesse contexto, com base no desenvolvimento da ciência da época, a descrição de como se realizava a síntese de proteínas pelos processos de transcrição e tradução e, ainda, a decifração do código genético, o qual se tornou universal, reforçaram o dogma central da biologia. Esse dogma consistia em que a informação genética é passada a partir do gene para a proteína, e não o contrário; assim, o fenótipo é inteiramente dependente do genótipo (Sarà, 2002).

Contudo, nesse mesmo período, François Jacob (1920–2013) e Jacques Monod (1910–1976) desenvolveram conhecimentos que geraram novas indagações no entendimento acerca da função e regulação gênica, com a divulgação do modelo de “Operon Lac”, o que levou ao questionamento do conceito molecular “um gene, uma enzima”. Esse modelo foi produzido a partir de estudos com a bactéria “E. Coli”, constituído de três genes adjacentes e três sequências regulatórias (um promotor, um terminador, um operador), sendo, basicamente, regulado pela presença ou ausência de lactose. Tal processo envolve uma proteína regulatória, a “repressor lac”, em que, na ausência de lactose, o repressor se mantém fortemente ligado à região promotora, inibindo a produção de enzimas que degradam a lactose. Entretanto, o que

poderia, nesse caso ser considerado como um gene? O conjunto dos três genes estruturais e o gene produtor da proteína de regulação podem ser vistos como um único gene? Cada gene pode ser tratado separadamente como uma unidade? Como se vê, vários questionamentos foram surgindo a partir dos estudos com o “Operon Lac” (Keller, 2002; Joaquim e El-Hani, 2010).

Os desafios mais relevantes relacionados ao conceito de gene molecular clássico ocorreram devido aos avanços das pesquisas em seres eucariotos. Apesar de todos os conhecimentos sobre regulação celular serem construídos a partir das pesquisas em procariotos, as pesquisas realizadas na década de 1970 evidenciaram que os mecanismos presentes nesses seres eram distintos dos encontrados nas bactérias.

Em fevereiro de 1977, dois bioquímicos norte-americanos foram os primeiros a relatar que os genes eucarióticos de RNAs ribossômicos eram interrompidos. Em seguida, outros cientistas divulgaram, simultaneamente, que o DNA dos organismos eucarióticos não era contínuo como ocorria nas bactérias (Waizbort e Solha, 2007). Essas sequências foram nomeadas de éxons, para os segmentos que seriam expressos, sendo intercaladas por íntrons, referente às partes não-expressas. Os íntrons foram chamados de “DNA-lixo” pela comunidade científica, visto que, aparentemente, não serviam para nada. Entretanto, alguns questionamentos surgiram, como: por que a evolução permitiu que esses fragmentos permanecessem por tanto tempo presentes entre as espécies se eles não servem para nada? Qual o sentido de sua existência? (Keller, 2002).

Vários pesquisadores, como Keller (2002), Waizbort e Solha (2007) e Joaquim e El-Hani (2010), enfatizam que a partir dos conhecimentos de que o DNA eucariótico é interrompido, não existe a proporção de um para um, ou seja, que um gene codifica uma proteína, pois o DNA é transcrito em um “RNA mensageiro”, que precisa ser processado antes de ser traduzido em proteína. Após a retirada dos íntrons, os éxons podem se reorganizar de diversas maneiras; assim, um gene pode codificar mais do que uma proteína. Waizbort e Solha (2007) destacam que, apesar dessa evidência ter sido prevista por Walter Gilbert, em 1978, somente em 1987 foi possível verificar experimentalmente o processamento alternativo das partes que constituem o RNAm.

Esses rearranjos gênicos ficaram conhecidos como Splicing alternativo, unidades de mensagens construídas anteriormente à constituição do produto, ou seja, são modulações que ocorrem antes de o DNA exercer a sua função (Joaquim & El-Hani, 2010). Dessa forma, um gene não codifica apenas uma proteína, já que não existe a relação 1:1:1, como destacado na década de 1950, por Francis Crick.

Andrade (2000) afirma, sobre o desenvolvimento da genética molecular, que, até aquele momento, as definições de genótipo e fenótipo eram referentes a uma série de características morfológicas, comportamentais e fisiológicas dependentes inteiramente do genótipo. Isso se deveu ao fato de que as respostas que se buscavam estavam em estabelecer as relações existentes entre a constituição genética e a aparência externa dos indivíduos. No entanto, a partir dos avanços científicos, o conceito de organismo, apresentado de forma organizada e estruturada, e considerado como importante para o desempenho das interações ecológicas, abriu espaço para o entendimento do fenótipo como construção que interage com fatores como o meio interno e externo ao organismo, o desenvolvimento, entre outros.

Assim, o papel evolutivo do conceito de fenótipo na seleção natural deve-se à consideração de que as diferenças fenotípicas eram consideradas como adaptativas ao ambiente; nesse sentido, o fenótipo só teria importância por ser a expressão dos genes. Logo, a inseparabilidade desses conceitos estaria somente na dependência existente entre a aparência do organismo e seu código genético, entre o que pode ser mudado pela ação do meio e o que se transmite para as gerações futuras (Andrade, 2000).

Desde então, muito se avançou na área correspondente à genética molecular. Em 1990, oficializou-se o Projeto Genoma Humano, que tinha, entre outros objetivos, a pretensão de sequenciar as bases existentes no DNA humano, o que ocorreu por volta do ano 2000. Após esse sequenciamento, muitos outros DNAs passaram pelo mesmo processo; entretanto, o “simples” sequenciamento do DNA humano gerou grande decepção, pois, como destaca Consolaro (2009, p.15),

Nesse projeto, detectou-se o sequenciamento do filamento do DNA, mas não onde se iniciam e terminam todos os genes envolvidos na formação e funcionamento do homem. Isso ainda está sendo feito, ou pelo menos tentando-se fazer. Para mostrar a complexidade desse sistema, ainda tem-se os genes saltatórios, que podem mudar de posição no filamento do DNA no contexto dos cromossomos. Esses apresentam maior dificuldade de identificação e isolamento.

Os conceitos de genótipo e fenótipo sofreram muitas modificações com o desenvolvimento da genética molecular, especialmente entre os anos 1980 e 1990, e na virada dos anos 2000. Atualmente, sabe-se que é bastante complexa a maneira como o genoma atua na construção do fenótipo. Hoje, a ciência está longe da ideia de “um gene, uma enzima”; no entanto, ainda tem-se o dogma central da Biologia presente tanto na comunidade científica quanto na sociedade, as quais consideram que os genes são traduzidos em proteína, e não o

contrário. Entretanto, com a ampliação do conhecimento da genética molecular e de outras áreas de pesquisa, evidencia-se que a expressão do genoma acontece com a atuação conjunta de proteínas e estímulos ambientais. Desse modo, o fenótipo não se resume apenas ao produto da expressão do genótipo, sendo também um instrumento participante nos complexos processos de transcrição (Sarà, 2002).

O conhecimento que hoje prevalece na comunidade científica é o da existência de uma interdependência: do genótipo em relação ao fenótipo, do fenótipo para expressar o próprio fenótipo, e a ação do meio intracelular e extracelular, agindo em ambos também de forma regulatória e expressiva. Como se não bastasse toda essa complexidade, ainda existe a influência e a interação de todos esses elementos com o ambiente externo ao organismo. Na sequência, encontra-se demonstrada essa inter-relação que ocorre entre as partes para formar o indivíduo.

Figura 1 - Relação não direcional das diversas partes que se inter-relacionam para formar o organismo.



Fonte: Os autores.

Como se evidencia no esquema, não existe direção dos fatores que compreendem a formação do organismo, pois todos os fatores interagem, um completando o outro, havendo sobreposição quando é conveniente, mas sem diminuir a importância do outro no processo contínuo do complexo desenvolvimento do organismo como um todo.

Dessa forma, com o desenvolvimento da genética molecular ocorrido durante os séculos XX e XXI, alguns conceitos foram se modificando e se completando, entre os quais se encontram o de genótipo e fenótipo. Portanto, é relevante analisar como esses conceitos são

apresentados, ao longo do tempo, nos livros didáticos voltados à educação básica, mais especificamente o Ensino Médio.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram analisados 74 livros didáticos da educação básica, editados desde a década de 1950 a 2013, codificados de LD1 a LD74.

Apêndice 1 - Relação dos livros analisados dispostos em suas respectivas épocas e com seu código de identificação.

	Referências analisadas	Código.
Década de 1950	Almeida Junior, A. F. (1955). <i>Biologia Educacional: Noções Fundamentais</i> . São Paulo: Nacional.	LD1
Década de 1960	Krasilchik, M., Cleffi, N. M. (1967). <i>Biologia: Das Moléculas ao Homem</i> . São Paulo: EDART.	LD2
	Frota Pessoa, O. <i>Manual de Biologia</i> . São Paulo: Fundo de Cultura.	DD3
	Antunes Júnior, A., Antunes, J. (1968). <i>Biologia: Botânica, Zoologia e Biologia Geral</i> . São Paulo: Companhia Editora Nacional.	LD4
	Almeida Junior, A. F. (1969). <i>Biologia Educacional: Noções Fundamentais</i> . São Paulo: Nacional.	LD5
Década de 1970	Fonseca, A. (1970). <i>Biologia: Conteúdo e Programa do Colegial e Vestibulares</i> . São Paulo: Ática.	LD6
	Kumpinski, I., Képes, A. D., Gonçalves, B. (1971). <i>Biologia Geral</i> .	LD7
	Albuquerque Júnior, G. A., Paulo, R. S., Penna, L. A. (1973). <i>Ciências: Nova Biblioteca Básica Colegial</i> .	LD8
	Amabis, J. M., Martho, G. R., Mizuguchi, Y. (1974). <i>Biologia: Genética, Evolução e Ecologia</i> . São Paulo: Moderna.	LD9
	Lopes, S. <i>Biologia Auto-instrutivo</i> . São Paulo: Saraiva.	LD10
	Pedersoli, J. L., Gomes, W. C. (1976). <i>Biologia II</i> . Belo Horizonte: Livraria Lê Editora LTDA.	LD11
	Dias, D. P., João, L. C. (1977). <i>Biologia: Biologia Geral, Botânica, Zoologia, Ecologia e Programas de Saúde</i> . São Paulo: Moderna.	LD12
	Beçak, M. L., Beçak, W. (1977). <i>Elementos de Biologia</i> . São Paulo: FTD.	LD13
	Gomes, C. W., D'Assunção Filho, M. A., Pedersoli, J. L., Martins, J. P. S., Alvarenga, J. P., Melo Junior, E. F. (1977). <i>Ciências: Programa de Saúde e Ecologia</i> . Belo Horizonte: Livraria Lê Editora LTDA.	LD14
	Rodrigues, J. M. C., Moraes, W. T. (1978). <i>Biociências: 2 Grau</i> . São Paulo: Nacional.	LD15
	Amabis, J. M., Martho, G. R., Mizuguchi, Y. (1978). <i>Biologia</i> . Ed. São Paulo: Moderna.	LD16
Década de 1980	Fonseca, A. (1980). <i>Biologia: Segundo Grau</i> . São Paulo: Ática.	LD17
	Linhares, S. V., Gewandsznajder, F. (1980). <i>Biologia das Populações: Genética, Ecologia, Evolução: 2 Grau</i> . São Paulo: Ática.	LD18
	Marcondes, A. C., Lammoglia, D. A. (1981). <i>Aulas de Biologia</i> . São Paulo: Atual.	LD19
	Hennig, G. J., Ferraz, G. C. (1981). <i>Biologia Geral: 2 Grau</i> . Porto Alegre: Ed. Revista e Ampliada.	LD20
	Dias, D. P., João, L. C. (1982). <i>Biologia: 2 Grau</i> . São Paulo: Moderna.	LD21
	Martho, G. R., Amabis, J. M. (1983). <i>A Ciência da Biologia</i> . São Paulo: Moderna.	LD22
	Menegoto, M., Azevedo, A. C. P. (1983). <i>Biologia Geral</i> . Porto Alegre: Sagra.	LD23
	Silva Junior, C., Sasson, S. (1984). <i>Biologia 3</i> . São Paulo: Ed. Atual.	LD24
	Gonçalves, M. I. S., Abreu, E. F. <i>Biologia do Segundo Grau</i> . São Paulo: Ática.	LD25
	Soares, J. L. (1988). <i>Biologia Básica: Genética, Evolução e Ecologia</i> . São Paulo: Ed. Scipione LTDA.	LD26
	Oliveira, I. M. B., Paula, M. C. F., Vimieiro, M. G. M., Schwenck, T. C. (1989). <i>Ciências, Crítica e Ação: 8ª Série</i> . São Paulo: Ed. Editora do Brasil S/A.	LD27
Paulino, W. R. (1990). <i>Biologia Atual: Genética, Evolução, Ecologia</i> . São Paulo: Ática.	LD28	

	Gowdak, D., Mattos, N. S. (1990). <i>Biologia: Genética, Evolução, Ecologia</i> . São Paulo: FTD.	LD29
	Silva Junior, C., Sasson, S. (1990). <i>Biologia 3: Genética, Evolução, Ecologia, Embriologia</i> . São Paulo: Atual.	LD30
	Amabis, J. M., Martho, G. R. (1990). <i>Fundamentos da Biologia Moderna</i> . São Paulo: Ed. Moderna.	LD31
	Soares, J. L. (1991). <i>Biologia: Volume Único</i> . Scipione LTDA: São Paulo.	LD32
	Gowdak, D., Mattos, N. S. (1991). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: FTD.	LD33
	Lopes, S. G. B. C., Lopes, P. C., (1991). <i>Curso Completo de Biologia Sintético e Atualizado</i> . São Paulo: Saraiva.	LD34
	Linhares, S., Gewandsznajder, F. (1993). <i>Biologia Hoje: Volume 3</i> . São Paulo: Ática.	LD35
	Marcondes, A. C., Lammoglia, D. Â. (1994). <i>Biologia Ciência da Vida</i> . São Paulo: Atual.	LD36
	Lopes, S. G. B. C. <i>BIO 3</i> . (1995). São Paulo: Saraiva.	LD37
	Soares, J. L. (1995). <i>Biologia: Funções Vitais, Embriologia, Genética</i> . São Paulo: Scipione.	LD38
	Silva Junior, C., Sasson, S. (1995). <i>Biologia 3</i> . São Paulo: Saraiva.	LD39
	Paulino, W. R. (1996). <i>Biologia Atual</i> . São Paulo: Ática.	LD40
	Dias, D. P. (1996). <i>Biologia Viva: Volume Único</i> . São Paulo: Moderna.	LD41
	Amabis, J. M. Martho, G. R. (1997). <i>Fundamentos da Biologia Moderna</i> . São Paulo: Moderna.	LD42
	Soares, J. L. (1997). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: Scipione.	LD43
	Lopes, S. G. B. C. (1998). <i>Bio: Volume Único</i> . São Paulo: Saraiva.	LD44
	Carvalho, W. (1998). <i>Biologia em Foco</i> . São Paulo: FTD.	LD45
	Lopes, S. G. B. C. (1998). <i>Bio: Volume 3</i> . São Paulo: Saraiva.	LD46
	Linhares, S. Gewandsznajder, F. (1998). <i>Biologia Hoje</i> . São Paulo: Ática.	LD47
	Lopes, S. (1999). <i>BIO: Volume Único</i> . São Paulo: Saraiva.	LD48
	Linhares, S. Gewandsznajder, F. (1999). <i>Biologia Programa Completo</i> . São Paulo: Ática.	LD49
	Mercadante, C. Favaretto, J. A. (1999). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: Moderna.	LD50
	Soares, J. L. (1999). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: Scipione.	LD51
	Paulino, W. R. (1999). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: Ática.	LD52
	Canto, E. L. (1999). <i>Ciências Naturais: Aprendendo com o Cotidiano</i> . São Paulo: Moderna.	LD53
A partir do ano 2000	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2001). <i>Conceitos de Biologia</i> . São Paulo: Moderna.	LD54
	Gaianotti, A., Modelli, A. (2002). <i>Biologia Para o Ensino Médio: Volume Único</i> . São Paulo: Scipione.	LD55
	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2002). <i>Fundamentos da Biologia Moderna</i> . São Paulo: Moderna.	LD56
	Paulino, W. R. (2003). <i>Biologia</i> . São Paulo: Ática.	LD57
	Paulino, W. R. (2004). <i>Biologia</i> . São Paulo: Ática.	LD58
	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2004). <i>Biologia</i> . São Paulo: Moderna.	LD59
	Favaretto, J. A., Mercadante, C. (2005). <i>Biologia: Volume Único</i> . São Paulo: Moderna.	LD60
	Paulino, W. R. (2005). <i>Biologia, Volume 3: Genética, Evolução, Ecologia</i> . São Paulo: Ática.	LD61
	Laurence, J. (2005). <i>Biologia</i> . São Paulo: Nova Geração.	LD62
	Lago, S. R., Crozetta, M. (2006). <i>Biologia Para o Ensino Médio: Curso Completo</i> . São Paulo: IBEP.	LD63
	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2006). <i>Fundamentos da Biologia Moderna</i> . São Paulo: Moderna.	LD64
	Paulino, W. R. (2009). <i>Biologia</i> . São Paulo: Ática.	LD65
	Silva Júnior, C. Sasson, S. (2010). <i>Biologia 3: Genética, Evolução, Ecologia</i> . São Paulo: Saraiva.	LD66

	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2010). <i>Biologia</i> . São Paulo: Moderna.	LD67
	Amabis, J. M., Martho, G. R. (2013). <i>Biologia em Contexto</i> . São Paulo: Moderna.	LD68
Sem Ano	Moisés, H. N., Santos, T. H. F. <i>Biologia</i> . Nova Cultura.	LD69
	Uzunian, A., Birner, E. <i>Biologia: Volume Único</i> . HARBA.	LD70
	Zeinum, R. <i>Biologia Curso Completo</i> .	LD71
	Almeida Junior, A. <i>Biologia Educacional</i> . São Paulo: Nacional.	LD72
	Fonseca, A. <i>Biologia</i> . São Paulo: Ática.	LD73
	Freitas, O. T. <i>Biologia</i> .	LD74

A seleção dos livros utilizados nesta pesquisa ocorreu seguindo os seguintes critérios: possibilidade de encontrá-los nos espaços públicos do estado do Paraná–Brasil; pertencer à categoria de livros didáticos destinados à educação básica; apresentar, em seu conteúdo, os conceitos de genótipo e fenótipo.

A escolha dos livros didáticos como objeto de análise para esta pesquisa ocorreu pelo fato de esse material servir, muitas vezes, como o único material de apoio utilizado pelo professor em sala de aula. Sendo assim, o livro didático passa a ser um elemento importante da Transposição Didática Interna, pois assume o papel de “saber a ser ensinado” (Chevalard, 1999) para os alunos.

Esta pesquisa é de natureza qualitativa. Segundo Flick (2009, p.23),

Os aspectos centrais da pesquisa qualitativa (...) consistem na escolha adequada de métodos e teorias convenientes; no reconhecimento e na análise de diferentes perspectivas; nas reflexões dos pesquisadores a respeito de suas pesquisas como parte do processo de produção do conhecimento; e na variedade de abordagens e métodos.

Para configurar-se como uma pesquisa de cunho qualitativo, recorreu-se à análise de conteúdo, conforme proposto por Bardin (1979). A etapa da análise de conteúdo que consiste na categorização, proposta por Bardin, compreende os seguintes critérios:

A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidades de registro, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão dos caracteres comuns desses elementos (Bardin, 1979, p.117).

As categorias de análise dos livros didáticos estão dispostas na Tabela 1 e foram construídas com base no quadro apresentado no trabalho de Justina (2011, p.91), modelo que auxiliou o processo de construção das categorias 1, 3 e 6, e no trabalho de Schneider et al.,

(2011, p.212), que fundamentou a categoria 2. Ainda há as categorias 4 e 5, que emergiram das análises dos livros didáticos e foram fundamentadas na teoria.

Tabela 1 - Categorias de Análise. Adaptado de Justina (2011, p.91) e Schneider et al., (2011, p.212).

Código das categorias de análises	Nome das Categorias	Descrição das categorias
Categoria 1	Transmissão	O livro apresenta os pais como responsáveis pela transmissão de todas as características para seus descendentes, tanto as características genóticas quanto as fenóticas.
Categoria 2	Molecular clássico	É quando o genótipo determina o fenótipo, que é considerado as características aparentes, ou seja, é realizada a transcrição do DNA para o RNA e do RNA para as proteínas.
Categoria 3	Genótipo + ambiente formam o fenótipo	Entende-se que o genótipo recebido pelos pais em interação com o ambiente forma o fenótipo. Compreende-se o fenótipo como as características aparentes.
Categoria 4	Genótipo = fenótipo, mas o fenótipo não se restringe as características aparentes	Compreende-se que o genótipo determina o fenótipo, porém, o fenótipo supera as características aparentes, como a cor de olho, cor de pele, entre outros.
Categoria 5	Genótipo + ambiente, determina o fenótipo, mas o fenótipo não é somente características aparentes	Entende-se que o genótipo em interação com o ambiente determina o fenótipo. Entretanto, o fenótipo é entendido como as características morfológicas, fisiológicas, comportamentais, entre outras.
Categoria 6	Genótipo com o ambiente e o desenvolvimento formam o fenótipo	Genótipo em interação com ambiente juntamente com o desenvolvimento do organismo formam o fenótipo, que consiste nas características morfológicas, fisiológicas, comportamentais, entre outras.

4. Resultados e Discussões

Utilizou-se a formação de categorias para analisar como os conceitos de genótipo e fenótipo são apresentados nos livros didáticos. As categorias foram formadas mediante observações e indicações de quais seriam os conceitos de genótipo e fenótipo presentes na comunidade científica, adaptados de acordo com o modelo de Justina (2011) e Schneider et al. (2011). A disposição dos conceitos presentes nos livros didáticos encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Reconhecimento das categorias elencadas nos livros pesquisados.

Código das categorias de análise	Nome das Categorias	Livros didáticos que apresentam as categorias
Categoria 1	Transmissão	LD3, LD74.
Categoria 2	Molecular clássico o genótipo determina o fenótipo	LD1, LD2, LD4, LD5, LD7, LD8, LD10, LD17, LD26, LD29, LD33, LD49, LD72
Categoria 3	Genótipo + meio = fenótipo	LD11, LD12, LD13, LD14, LD15, LD19, LD20, LD21, LD23, LD24, LD25, LD27, LD30, LD32, LD36, LD40, LD41, LD43, LD47, LD48, LD50, LD51, LD54, LD55, LD56, LD60, LD62, LD64, LD66, LD70, LD71, LD73.
Categoria 4	Genótipo = fenótipo, mas o fenótipo não se restringe às características aparentes	LD6, LD35, LD53, LD63.
Categoria 5	Genótipo + ambiente, determina o fenótipo, mas o fenótipo não é somente características externas	LD9, LD16, LD18, LD22, LD28, LD37, LD38, LD39, LD42, LD44, LD45, LD46, LD52, LD57, LD58, LD61, LD65, LD68, LD69.
Categoria 6	Genótipo com o ambiente e o desenvolvimento formam o fenótipo, que não se restringe às características físicas	LD31, LD34, LD59, LD67.

A partir da análise dos conceitos de genótipo e fenótipo presentes nos livros didáticos elaborados desde a década de 1950 até o ano de 2013, verificaram-se as seguintes situações:

Na categoria 1, que representa a concepção de transmissão das características genóticas e fenóticas para os descendentes, foram classificados dois livros didáticos datados do início da década de 1960 (LD3) e um sem data (LD73). Essa forma de entender o conceito pode ser percebida nos trechos a seguir:

“O genótipo das plantas da F1 é, portanto, Tt. Mas como Mendel verificou, todas as plantas da F1 têm flores axilares: seu fenótipo é idêntico ao do seu progenitor TT”. (LD3, p.477)

“A transmissão das características de espécie de um ser vivo aos seus descendentes é chamada de hereditariedade (...). A soma dos caracteres externos visíveis de um indivíduo chamou-se de fenótipo enquanto o termo genótipo era designado à soma de todos os fatores hereditários de uma espécie dada”. (LD74, p.196)

Os fragmentos apresentam a compressão dos conceitos de genótipo e fenótipo como resultado da transmissão das características dos pais para os seus descendentes. Entretanto, como se pode perceber, o livro citado no primeiro trecho é datado da década de 1960,

momento em que a genética já havia avançado em relação à concepção de genótipo e fenótipo como resultado da transmissão dos pais para seus descendentes.

Nos anos 1960, a comunidade científica apenas percebia o modelo “um gene, uma enzima”, cuja veracidade já apresentava contradições. Também livros datados dessa época ainda revelavam os conceitos de genótipo e fenótipo como resultado da transmissão dos pais para os seus descendentes.

Na categoria 2, apresentam-se os livros cujos conceitos de genótipo e fenótipo são postos conforme a genética molecular clássica, a qual compreende que o genótipo determina o fenótipo. Os livros presentes nessa categoria são: década de 1950 (LD1), década de 1960 (LD2, LD4, LD5), década de 1970 (LD7, LD8, LD10), década de 1980 (LD17, LD26) e década de 1990 (LD29, LD33, LD49). Alguns exemplos de como esses conceitos são apresentados nesses materiais encontram-se a seguir:

“‘Genótipo’ e ‘fenótipo’ são duas expressões muito usadas em genética. Genótipo é o conjunto de propriedades genéticas, expressas ou latentes, do indivíduo. Fenótipo é a sua aparência exterior”. (LD1, p.145)

“Enquanto o genótipo se refere a “fórmula gênica” de um organismo para um determinado carácter (...), o fenótipo se refere à expressão desses gens, isto é, ao aspecto de um organismo que tem um determinado genótipo”. (LD2, p.80)

“É o genótipo, ou seja, o conjunto de genes do indivíduo que, ao se manifestar, estabelece todas as características do indivíduo. Essas características, que nada mais são que a expressão do genótipo, constituem o fenótipo do indivíduo”. (LD10, p.145)

“O conjunto dos genes de um organismo constitui o seu genótipo, e a aparência que ele manifesta, o seu fenótipo”. (LD29, p.27)

Tais entendimentos são decorrentes do dogma central da Biologia: “um gene, uma enzima”, como citado anteriormente. Conforme Keller (2002), essa concepção foi reforçada pela afirmação de Francis Crick de que o DNA contém a informação genética que é transcrita para o RNA e, em seguida, traduzida para uma proteína.

Assim, a categoria 2 corresponde ao conceito molecular clássico de genótipo e fenótipo, o qual, reforçado pelo dogma central da Biologia, começou a ser questionado devido aos experimentos relacionados à regulação da expressão gênica realizados por Jacob e Monod, em 1961. Segundo Joaquim e El-Hani (2010) e Keller (2002), acerca da regulação da expressão gênica, conhecida como “Operon Lac”, por meio de pesquisas foi identificada a presença de uma região promotora, uma região terminadora e um operador. Tais estudos

geraram incertezas no entendimento vigente na época, ou seja, que um gene era responsável por produzir uma proteína.

Entretanto, foi somente na década de 1970, com o desenvolvimento da pesquisa em eucariotos, que o conceito molecular clássico deixou de ser o mais aceito pela comunidade científica (Joaquim & El-Hani, 2010). Porém, como se pôde averiguar, os conceitos de genótipo e fenótipo ainda se encontravam presentes nos livros didáticos cujas edições datavam da década de 1990. Essa constatação explicita que, mesmo duas décadas após o conceito molecular clássico ter sido questionado, ele ainda é encontrado nos livros que são utilizados em sala de aula, o que pode levar a concepções deterministas sobre os conceitos de genética.

Essas visões deterministas podem ser superadas com o emprego de conceitos atualizados e, também, com a utilização da História e Filosofia da Ciência no ensino. Desse modo, isso possibilita que o aluno entenda que a ciência é um conhecimento aproximado (Bachelard, 2004), mutável e que passa por várias transformações, sendo fruto da atividade humana. Portanto, de acordo com Martins (2008), ele sofre influência dos meios cultural, social, econômico, entre outros, nos quais os cientistas encontram-se incluídos.

Na categoria 3, encontram-se os livros cujo texto apresenta o fenótipo como resultado da interação do genótipo com o ambiente. Estão presentes nessa categoria 32 livros, distribuídos nas décadas de 1970 (LD11, LD12, LD13, LD14, LD15), na década de 1980 (LD19, LD20, LD21, LD23, LD24, LD25, LD27), na década de 1990 (LD30, LD32, LD36, LD40, LD41, LD43, LD47, LD48, LD50, LD51), a partir dos anos 2000 (LD54, LD55, LD56, LD60, LD62, LD64, LD66), e os livros que não possuíam datação (LD70, LD71, LD73). A seguir, são expostos os exemplos de como os conceitos são apresentados nos livros didáticos analisados:

“As características dos organismos vivos dependem não só dos gens como também de um meio ambiente apropriado para que eles possam se manifestar com toda a sua plenitude (...) tal comportamento nos permite dizer que o fenótipo de um organismo depende não só do genótipo, como do ambiente (...) quanto ao genótipo de um organismo pode-se dizer que um ambiente normal não é capaz de alterá-lo”. (LD11, p.32)

“Genótipo – é a constituição gênica do organismo, representado graficamente, por letras. Fenótipo – é a característica determinada pelos gens mais a influência do meio”. (LD14, p.55)

“Chama-se genótipo ao conjunto de genes (os fatores de Mendel) que um indivíduo recebe e transmite hereditariamente. É o patrimônio genético de um organismo (...)”

fenótipo é aparência, o aspecto externo de um indivíduo. O fenótipo representa a soma de todas as características observáveis em um organismo (...) fenótipo=genótipo + meio ambiente”. (LD36, p.24)

“O fenótipo é a manifestação do genótipo do indivíduo. Entretanto, pode-se considerar que o fenótipo resulta da interação entre o genótipo e o meio ambiente”. (LD40, p.65)

“O fenótipo de um ser vivo é, portanto, determinado pelos genes que ele recebeu de seus pais em interação com o ambiente onde ocorre o desenvolvimento”. (LD64, p.583)

Essa visão dos conceitos de genótipo e fenótipo associados ao ambiente justifica-se, em parte, pelo extremismo a que a humanidade chegou com o movimento eugênico. Segundo Guerra (2006), esse pensamento teve influência na construção da teoria do darwinismo social, a qual era derivada da teoria de seleção natural proposta por Darwin. Francis J. Galton dedicou-se a promover a “melhora” da humanidade por meio de casamentos seletivos, propondo, em seu livro “Inquiries into human faculty and its development”, o nome de eugenia para a nova ciência, palavra essa que significa “bem nascer”. A proposta de Galton ficou conhecida como “eugenia positiva”; entretanto, nos Estados Unidos, ela foi modificada e passou a ser chamada de “eugenia negativa”, a qual se pautava pela eliminação das futuras gerações de “incapazes”.

Consequentemente, os exemplos da interação genótipo e ambiente ficaram bem restritos. Em geral, os exemplos se restringiam às influências das características físicas dos organismos nos quais os fenótipos comportamentais geralmente não apareciam. Tal referente aparece, também, nos exemplos utilizados para a explicação dessa interação, presentes nos seguintes livros didáticos:

“Pessoas com o mesmo genótipo para cor de pele terão pele mais clara ou mais escura dependendo do tempo de exposição ao sol”. (LD64, p.583)

“Em coelhos himalaia, por exemplo, o mesmo gene que determina, durante o verão, pelagem branca pelo corpo, com as extremidades pretas (orelhas, focinhos e patas), condiciona a queda da pelagem branca e o aparecimento de uma pelagem toda negra durante o inverno, quando o animal vive em região gelada”. (LD51, p.221)

Essa forma de entender como ocorria a formação do fenótipo do indivíduo com base na influência do ambiente começou a ser pensada já nos anos 1950, mas somente se pode identificar a transposição para os livros editados a partir de 1970, o que evidencia ainda mais a demora nas atualizações dos conceitos presentes nos livros didáticos. Esse adiamento, com

um espaço de tempo muito grande, pode fazer com que os alunos entendam os conceitos de maneira equivocada e, nesse caso específico, passem a compreender que existem seres vivos “superiores”, determinados geneticamente, e outros “inferiores”, também subordinados à determinação genética, o que seria um problema para a sociedade e também para o ambiente em geral.

Assim, algumas pesquisas na área da Biologia apresentavam indícios da influência do ambiente nas características fenotípicas, como os trabalhos desenvolvidos por Waddington. Santos (2015) afirma que o interesse inicial de Conrad Hal Waddington (1905–1975) estava relacionado à “adaptação pseudoexogena”. Entre as adaptações estava a calosidade presente no peito dos avestruzes, a qual teria como origem a fricção que o animal realiza no peito com as pernas ao sentar-se. No entanto, novas pesquisas evidenciaram que a calosidade se formava durante o desenvolvimento embrionário, o que levou os cientistas da época a começarem a se questionar se as fricções não poderiam ter modificado o material genético das aves a ponto de ser transmitido às gerações posteriores. Esse questionamento instigou Waddington a desenvolver suas pesquisas; contudo, fazer pesquisas com avestruz era um tanto difícil e, devido a essa dificuldade, ele optou por trabalhar com a mosca-da-fruta, a *Drosophila*, nos Estados Unidos, juntamente com o grupo de Thomas Hunt Morgan (1866-1945).

Waddington realizou experimentos para analisar se ocorriam mudanças nos fenótipos das moscas, caso alguma característica ambiental fosse modificada, utilizando, para tais, a elevação da temperatura para 40 graus. Com esse experimento, o autor verificou que ocorria a diminuição das veias transversais nas asas e que essa característica era passada aos descendentes, mesmo sem as condições ambientais iniciais. Desse modo, ele concluiu que as características foram modificadas nos genes e que o ambiente poderia realizar alterações permanentes, as quais afetavam o fenótipo dos indivíduos (Waddington, 1952).

Mesmo com as pesquisas de Waddington evidenciando como o ambiente era capaz de influenciar o desenvolvimento do organismo, como se pode perceber, certas dificuldades revelaram-se para explicar a influência no fenótipo devido às associações da influência do ambiente com a lei do uso e desuso. “(...) Segundo essa lei quanto mais uma parte ou órgão do corpo é usado, mais se desenvolve, enquanto as partes que não são usadas se enfraquecem, atrofiam, podendo mesmo desaparecer” (Martins & Brito, 2006, p. 254), e com a lei dos caracteres adquiridos: “(...) essa lei postulava que as alterações provocadas num órgão pelo uso ou desuso são transmitidas aos descendente” (Martins & Brito, 2006, p. 254), de Jean-Baptiste de Lamarck (1744–1829), ambas superadas pela teoria da seleção natural de Charles Darwin (1809–1882).

Na categoria 4 estão os livros que apresentam o genótipo como determinante do fenótipo; porém, o fenótipo não é entendido somente como as características aparentes dos indivíduos. Encontram-se, nessa categoria, os livros de 1970 (LD6), de 1990 (LD35 e LD53) e os lançados a partir dos anos 2000 (LD63). Pode-se observar como os conceitos são apresentados nesses livros nos recortes a seguir:

“Chama-se genótipo a constituição hereditária, ou seja, a soma total dos fatores hereditários que o indivíduo recebe de seus pais. Fenótipo é a aparência do indivíduo, isto é, a soma total de suas peculiaridades expressas na forma, cor, tamanho, comportamento tanto externas como internas”. (LD6, p.119)

“O conjunto de genes que o indivíduo possui em suas células é chamado genótipo. O conjunto de características morfológicas ou funcionais do indivíduo é o seu fenótipo”. (LD35, p.15)

Pelos exemplos apresentados, pode-se perceber que, apesar de não estar explícito, os autores abordam o genótipo como determinante do fenótipo, visto que não citam, durante a redação do texto, nenhum influenciador do genótipo, como o meio intra e extracelular, a alimentação, o ambiente externo, entre outros. Tal constatação deixa implícita a ideia de que o fenótipo é resultado da expressão do genótipo.

Logo, a categoria 4, apesar de inserir o ambiente, apresenta um entendimento determinista do genótipo, mesmo já havendo evidências das limitações durante a data de publicação do primeiro livro presente nessa categoria. Isso esclarece que mesmo após os problemas enfrentados devido ao determinismo genético, muito ainda precisava mudar no entendimento que a sociedade tinha desses conceitos.

Na categoria 5 estão os livros didáticos que apresentam o conceito de que o genótipo, juntamente com o ambiente, determina o fenótipo; todavia, o fenótipo não consiste somente de características aparentes. Essa forma de perceber o conceito encontra-se nos livros das décadas de 1970 (LD9), 1980 (LD16, LD18 e LD22), 1990 (LD28, LD37, LD38, LD39, LD42, LD44, LD45, LD46 e LD52), os publicados após os anos 2000 (LD57, LD58, LD61 e LD65) e os que não possuem data (LD68 e LD69). A forma como apresentam o conceito encontra-se destacada nos trechos a seguir:

“Todos os caracteres apresentados por um organismo, sejam eles morfológicos, fisiológicos ou comportamentais (etológicos) constituem o seu fenótipo (...) a este material damos o nome de genótipo, que em última análise é constituído pelos genes

das células (...) fatores ambientais podem, também, alterar o fenótipo de um organismo”. (LD16, p.13)

“Entende-se por fenótipo as características que se manifestam em um indivíduo, quer sejam elas, de ordem morfológica quer fisiológica (...) pode-se considerar que o fenótipo resulta da interação entre o genótipo e o meio ambiente”. (LD65, p.328)

“Os geneticistas utilizam o termo fenótipo (...) para se referir às características observáveis de um ser vivo, sejam elas físicas, bioquímicas ou comportamentais (...) dois indivíduos, mesmo que tenham genótipos idênticos, podem apresentar diferenças no fenótipo decorrentes de influências ambientais”. (LD68, p.88)

Com base nos exemplos, pode-se perceber que é mantida a compreensão de que o fenótipo resulta da interação com o meio ambiente. Entretanto, agrega-se o conhecimento de que o fenótipo não se restringe somente às características físicas dos indivíduos, mas que também é composto por características comportamentais, fisiológicas, etc.

Dessa forma, a compreensão apresentada na categoria 5 começou a ser percebida no meio científico devido aos avanços no conhecimento em genética molecular, no início dos anos 1960, e que, todavia, só apareceram nos livros didáticos dos anos 1970. Porém, pela nossa amostra, somente um livro apresenta essa forma de entender o fenótipo, sendo que todos os outros livros classificados nessa categoria são datados a partir dos anos 1980. Isso evidencia, mais uma vez, a demora de mais ou menos 20 anos nas atualizações dos conceitos presentes nos livros didáticos utilizados em sala de aula da educação básica.

Contudo, não é um atraso muito relevante, se comparado ao que ocorre com disciplinas como a Matemática, como destaca Machado (1996), visto que conteúdos como o cálculo diferencial e integral, constituído como disciplina do século XVII até o ano de 1996, data em que o autor realizou a pesquisa, ainda não se encontravam presentes nos livros didáticos. Ressalta-se, assim, que os conteúdos de Biologia oriundos do século XX, como o DNA, já estão presentes nos currículos.

Apesar disso, é relevante destacar que os conteúdos referentes ao DNA tiveram um rápido desenvolvimento durante o século XX, devido, em parte, ao desenvolvimento da tecnologia. Quando se trata dos conceitos de genótipo e fenótipo, o atraso na divulgação atualizada desses conceitos, seja em âmbito educacional ou nos meios de comunicação, pode acarretar problemas sociais. Como já evidenciados neste artigo, os problemas decorrentes do determinismo genético, perpetuado durante o final do século XIX e até a metade do século XX, ainda são encontrados na sociedade do século XXI, no que tange à escolha das características físicas dos bebês, realizadas na fecundação in vitro. Como relata Guerra (2006,

p.5), “são lugares semelhantes e as questões éticas levantadas são as mesmas – a diferença está em um século de avanços tecnológicos”.

Portanto, cabe aqui ressaltar a importância de se ensinar contemplando as atualizações, e de preferência de maneira histórica e atualizada, os conceitos biológicos para não se cometer novamente os mesmos erros do passado e que estão sendo repetidos, ainda que de maneira diferenciada, no presente.

A categoria 6 abrange os livros didáticos que apresentam o conceito de genótipo composto pela bagagem genética em conjunto com o ambiente e que citam, ainda, o desenvolvimento como um dos fatores que constituirão o fenótipo. Este, por sua vez, consiste de características morfológicas, fisiológicas, comportamentais, entre outras.

Nessa categoria foram elencados somente quatro livros: em 1990 (LD31 e LD34) e os elaborados a partir dos anos 2000 (LD59 e LD67). A seguir, são transcritos exemplos de fragmentos que apresentam o conceito:

“O termo fenótipo é empregado para designar qualquer característica de um indivíduo, seja ela morfológica, fisiológica, ou comportamental (...) o fenótipo de um indivíduo sofre transformações com o passar do tempo (...) o genótipo, ao se manifestar, também sofre influências do ambiente”. (LD31, p.320-321)

“O termo fenótipo (...) designa as características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais manifestadas por um indivíduo (...) o fenótipo resulta da interação entre o genótipo e os fatores ambientais diversos (...) o fenótipo também se transforma com o passar do tempo”. (LD67, p.43)

Nos exemplos apresentados para essa categoria, fica evidente o entendimento um pouco mais amplo dos conceitos de genótipo e fenótipo, mesmo que ainda restrito ao nível de conhecimento da época de publicação.

Um fato interessante é que um dos livros apresenta o exemplo do desenvolvimento de um anfíbio, que, se bem explorado, pode ser um bom recurso para explicar o processo de regulação gênica, embora o autor não tenha cogitado essa possibilidade no texto do livro:

“O ovo dá origem a um girino, que tem características fenotípicas muito diferentes das do sapo adulto. O girino sofre então uma série de modificações, até transformar-se em um sapo adulto (...) no caso do sapo, um mesmo genótipo expressa-se diferentemente, dependendo do estágio de desenvolvimento da vida do animal. O genótipo que existe no ovo é o mesmo que existe no girino e no sapo adulto, mas o girino tem a forma diferente daquela do sapo adulto, o girino respira por brânquias, enquanto o sapo adulto respira por pulmões. O genótipo nem sempre determina um só fenótipo, pois um mesmo genótipo pode-se expressar diferentemente, dependendo do meio em que o

animal se encontre. O meio não é somente o ambiente externo ao indivíduo. É também tudo o que cerca os cromossomos: o nucleoplasma, o citoplasma, o corpo e o próprio meio ambiente”. (LD34, p.120)

Esse modelo de exemplificação é muito positivo, visto que a maioria dos livros analisados geralmente utilizavam os mesmos exemplos (como a mudança da cor da pele, exposição ao sol, mudança da cor dos pelos dos coelhos himalaia com a mudança de temperatura, etc.) para explicar as interações entre o genótipo e o meio em que se encontra o indivíduo.

Amaral & Megid Neto (1997) e Núñez et al. (2003), ressaltam que, embora os livros didáticos apresentem limitações, é pertinente que o professor possa supri-las, em suas aulas, fazendo, até mesmo a correção de possíveis erros conceituais presentes nesses materiais, para que os alunos não tenham uma compreensão equivocada dos conhecimentos científicos. Portanto, se bem explorados pelo professor, os materiais didáticos podem ser um ótimo instrumento de ensino.

Assim, percebe-se, pela análise dos conceitos de genótipo e fenótipo presentes nos livros didáticos datados de 1950 a 2013, que, quando se trata de apresentar os conceitos científicos, é preciso fazê-lo de forma histórica, consistente e atualizada para que não sejam cometidas generalizações ou compreensões deterministas. Isso ajuda para que muitos problemas de ordem social possam ser evitados, se o aluno entender que os conceitos estão em constante mudança e que são passíveis de serem reformulados com os avanços das pesquisas científicas.

5. Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo, mediante fundamentação teórica histórica da genética molecular, analisar como são apresentados os conceitos de genótipo e fenótipo nos livros didáticos destinados ao ensino básico.

No total, foram analisados 74 livros, classificados em seis categorias. A categoria mais representativa foi a 3, cujos livros didáticos apresentam a concepção de que o genótipo mais o ambiente determinam o fenótipo. Essa é uma compreensão ainda muito presente na sociedade; mas, apesar de ser desenvolvida com relação ao conceito molecular clássico, de que o genótipo determina o fenótipo, ainda é bastante restrita quando comparada ao entendimento atual desses conceitos, o qual compreende que um organismo é a interação

entre o genótipo, os meios intra e extracelular, o ambiente externo e o fenótipo, acompanhados pelo desenvolvimento do organismo.

Outra categoria que se destaca é a categoria 5, na qual se descreve que o genótipo, em interação com o ambiente, determina o fenótipo; entretanto, o fenótipo não consiste apenas em características aparentes. Por esses conceitos, fica claro como o desenvolvimento da genética molecular, da ecologia, da fisiologia, da psicologia, entre outras, está alterando a compreensão que a comunidade científica tem do genótipo e do fenótipo, aspecto evidenciado pelas publicações nas quais essas categorias são exploradas, apesar de apresentarem demora nas atualizações dos conceitos.

A categoria considerada mais atualizada pela forma como apresenta os conceitos é a categoria 6, na qual se constata que o genótipo, em interação com o ambiente e em conjunto com o desenvolvimento, é o responsável pela formação do fenótipo, o qual não se restringe somente às características aparentes. Porém, apenas quatro livros foram classificados nessa categoria, datados de 1990 e de 2000 a 2013, embora, como se sabe, a comunidade científica já houvesse desenvolvido o entendimento de genótipo e fenótipo, por volta da década de 1980. Isso ressalta, mais uma vez, a demora na atualização dos conceitos presentes nos livros didáticos, causando um distanciamento da transposição didática para a sala de aula.

Percebe-se que, com o passar dos anos, alguns livros atualizavam os conceitos, porém, outros ainda permaneciam vinculados aos conceitos de décadas anteriores. Mesmo os que atualizavam o conteúdo para a época de publicação, ainda o faziam com certa demora, o que se justifica pelo processo de construção e revisão conceitual constante, característica própria do desenvolvimento científico. Nesse sentido, com o avanço das tecnologias que ocorreram nos últimos tempos, mais precisamente durante a segunda metade do século XX e dos primeiros anos do século XXI, as pesquisas em genética estão se desenvolvendo rapidamente, o que modifica os conceitos biológicos e acarreta dificuldades na transposição desses conceitos para os materiais didáticos.

Percebe-se, portanto, a necessidade da realização de pesquisas para a análise dos conceitos presentes nos livros didáticos, com o intuito de auxiliar tanto os professores, na escolha dos livros, quanto os autores, para suas publicações posteriores. Dessa maneira, as pesquisas de análise de livros didáticos podem dar subsídio ao trabalho docente em transpor o conhecimento científico para os alunos, visto que, muitas vezes, como foi dito ao longo deste artigo, o livro didático é o material de apoio mais utilizado em sala de aula.

Referências

- Amaral, I. A., & Megid Neto, J. (1997). Qualidade do livro didáticos de Ciências: o que define e quem define? *Ciência & Ensino*, 2(1), 13-14. Recuperado de <http://pcc.ifsp.edu.br:8081/ojs/index.php/cienciaeensino>.
- Andrade, E. (2000). La relación "genotipo-fenotipo" y su posible extrapolación al estudio del comportamiento y la cultura humana. *Ludus vitalis*, 7(14), 189-202. Recuperado de <http://acervoipeirceano.org/wp-content/uploads/2011/09/Andrade-Relacion-Genotipo-Fenotipo-Origen-Cultura-y-Lenguaje-2000.pdf>.
- Bachelard, G. (2004). *Ensaio sobre o conhecimento aproximado*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Bardin, L. (1979). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Batisteti, C. B., Araújo, E. S. N., & Caluzi, J. J. (2008). As interpretações dos estudos de Avery, MacLeod e MacCarty sobre a natureza química do fator transformante em bactérias. *Filosofia e História da Biologia*, 3(1), 71-94. Recuperado de <http://www.abfhib.org/FHB/FHB-03/FHB-v03-05-Caroline-Batisteti-et-al.pdf>.
- Bresch, C., & Hausmann, R. (1994). *Genética clássica e molecular*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Chevalard, Y. (1999). *La transposición didáctica: del conocimiento erudito al conocimiento enseñado*. Buenos Aires: AIQUE.
- Consolaro, A. (2009). O gene e a epigenética: as características dentárias e maxilares estão relacionadas com fatores ambientais ou Os genes não comandam tudo! ou O determinismo genético acabou? *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 14(6), 14-18. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/dpress/v14n6/a03v14n6.pdf>.
- Farah, Solange Bento. *DNA: segredos & mistérios*. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2007.

Flick, U. (2009). *Introdução à pesquisa qualitativa*. Porto Alegre: Artmed.

Guerra, A. T. M. (2006). Do holocausto nazista à nova eugenia no século XXI. *Ciência e Cultura*, 58(1), 4-5. Recuperado de http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=s0009-67252006000100002&script=sci_arttext.

Justina, L. A. D., & Caldeira, A. M. A. (2011). Investigação sobre a inclusão do episódio histórico da teoria genotípica de Wilhelm Ludwig Johannsen na formação inicial de professores e pesquisadores. *Filosofia e História da Biologia*, 6(2), 291-312. Recuperado de http://www.abfhib.org/FHB/FHB-6-2/FHB-6-2-07-Lourdes-Justina_Ana-Caldeira.pdf.

Justina, L. A. D. (2011). *Investigação sobre um grupo de pesquisa como espaço de formação inicial de professores e pesquisadores de Biologia*. Tese(Doutorado em Educação para Ciências), Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho, UNESP, Bauru.

Joaquim, L. M., & El-Hani, C. N. (2010). A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. *Scientiae Studia*, 8(1), 93-128. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ss/v8n1/a05v8n1.pdf>.

Johannsen, W. L. (1911). The genotype conception of heredity. *The American Naturalist*. 45(531), 129-159. Recuperado de http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic97823.files/IV/November_6/johannsen_-_genotype_conception.pdf.

Keller, E. F. (2002). *O século do gene*. Belo Horizonte: Crisálida.

Lajolo, M. (1996). Livro didático: um (quase) manual de usuário. *Em Aberto*, 16(69), 3-9. Recuperado de <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me001398.pdf>.

Machado, N. J. (1996). Sobre livros didáticos: quatro pontos. *Em Aberto*, 16, 30-38. Recuperado de <http://www.rbep.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/viewFile/2064/2033>.

Martins, A. F. P. (2008). História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112-131. Recuperado de

file:///C:/Users/coelhosbar/Downloads/Dialnet-HistoriaEFilosofiaDaCienciaNoEnsino-5165921(1).pdf.

Martins (C), L. A. P.; Brito, APOPM A. *A história da ciência e o ensino da genética e evolução no nível médio: um estudo de caso. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, (no prelo), 2006.

Mayr, E. (1998). *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança.* Brasília: Editora da Universidade de Brasília.

Núñez, I. B., Ramalho, B. L., Silva, I. K. P., & Campos, A. P. N. (2003). A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de Ciências. *Revista Iberoamericana de Educación*, 25(4), 1-11. Recuperado de <http://pinga.comperve.ufrn.br/conteudo/observatorio/arquivos/artigos/selecao-livros.pdf>.

Santos, C. G. (2015). Conrad Hal Waddington e a assimilação genética. *Filosofia e História da Biologia. Revista Filosofia e história da biologia*, 10(2), 155-173. Recuperado de <http://www.abfhib.org/FHB/FHB-10-2/FHB-10-2-01-Cintia-Graziela-Santos.pdf>.

Sarà, M. (2002). L'integrazione di genotipo e fenotipo alle soglie del 2000. *Systema Naturae*, 4, 181-208. Recuperado de <http://www.biologiateorica.it/pdf/art2002/Sara.pdf>.

Snustad, D. P., & Simmons, M. J. (2010). *Fundamentos de genética.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Schneider, E. M., Justina, L. A. D., Andrade, M. A. B. S., Oliveira, T. B., Caldeira, A. M. A., & Meghioratti, F. A. (2011). Conceitos de gene: construção histórico-epistemológica e percepções de professores do ensino superior. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(2), 201-222. Recuperado de <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134636/ISSN1518-8795-2011-16-02-201-222.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Waddington, C. H. (1952). Selection of the genetic basis for an acquired character. *Nature*, 169 (278), 625-626. Recuperado:
<http://www.nature.com/nature/journal/v169/n4302/abs/169625b0.html>.

Waizbort, R., & SOLHA, G. C. F. (2007). Os genes interrompidos: o impacto da descoberta dos íntrons sobre a definição de gene molecular clássico. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 5(1), 63-82. Recuperado de
file:///C:/Users/COELHOSBAR/Downloads/artigos_4.pdf.

Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Molecular structure of nucleic acids. *Nature*, 171(4356), 737-738. Recuperado de <http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Aline Alves da Silva – 50%

Lourdes Aparecida Della Justina – 30%

Alexandre Scheifele – 10%

Eduarda Maria Scheneider 10%