

**CONCEITOS DE GENE: CONSTRUÇÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA E
PERCEPÇÕES DE PROFESSORES DO ENSINO SUPERIOR**
(Concepts of gene: historical-epistemological construction and higher education teachers' perceptions)

Eduarda Maria Schneider [emschneiderbio@hotmail.com]

Lourdes Aparecida Della Justina [lourdesjustina@gmail.com]

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Rua Universitária, 2069, Cascavel PR, CEP: 85819-110

Mariana A. Bologna Soares de Andrade [mariana.bologna@gmail.com]

Universidade Estadual de Londrina

Rodovia Celso Garcia Cid, 445, Londrina, PR, CEP: 86051-990

Thais Benetti de Oliveira [thaisbbbp@hotmail.com]

Ana Maria de Andrade Caldeira [anacaldeira@fc.unesp.br]

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Av. Engº Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Bauru, SP, CEP: 17033-360

Fernanda Aparecida Meglhioratti [meglhioratti@gmail.com]

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Rua Universitária, 2069, Cascavel PR, CEP: 85819-110

Resumo

Considerando a importância que a discussão de conceitos relacionados à genética tem para a sociedade e a necessidade de abordar a ciência como uma atividade dinâmica e histórica, tratar-se-á aqui de um conceito indispensável ao entendimento da herança biológica: o conceito de *gene*. Neste sentido, objetiva-se nesse artigo discutir a presença de diferentes conceitos de genes na história da biologia e a relevância de se abordar no contexto de ensino o conceito de gene em uma percepção sistêmica dos fenômenos. Também, buscou-se analisar ideias de gene presentes em professores de duas universidades públicas. Os resultados apontaram a presença de diferentes definições de gene, com a predominância de ideias vinculadas ao estabelecimento do gene como unidade estrutural, funcional e/ou informacional.

Palavras-chave: conceito de gene; visão sistêmica da Biologia; formação de professores.

Abstract

Considering the importance that the discussion of concepts related to genetics has on the society and the necessity to approach science as a dynamic and historical activity, it will be discussed an essential concept to the understanding of biological inheritance: the concept of gene. This way, the article aims to discuss the different concepts of genes in the history of biology and the relevance of addressing in teaching context this concept in a systemic perception of phenomena. Also, the paper have an analyses of the ideas about the concept of the gene from teachers from two university. The results indicate the presence of different definitions of the gene in the discourse of university teachers, with the predominance of gene concept as a structural, functional and/or informational unit.

Keywords: concept of gene; systemic view of biology; teachers training.

Introdução

A sociedade contemporânea busca por uma educação que atenda às exigências decorrentes do estado atual do conhecimento científico. Nesse contexto, os inúmeros avanços científicos na área de Ciências Biológicas são acompanhados pela inserção de novos conceitos no corpo teórico da

Biologia, sendo a compreensão destes, fundamental para o entendimento dos processos biológicos por alunos da Educação Básica ao Ensino Superior. Porém, a aprendizagem dos conceitos biológicos é um desafio tanto para jovens estudantes quanto para professores e pesquisadores envolvidos com a educação em ciências, sendo as dificuldades de construções conceituais justificadas em parte pela própria dimensão do objeto de estudo da Biologia, a vida em toda sua diversidade.

Uma das áreas de difícil compreensão para o Ensino de Biologia devido à complexidade dos fenômenos a que se refere e a discussão sobre sua construção conceitual é a genética. Vários estudos mostram que os conceitos de genética são difíceis de serem trabalhados no Ensino de Biologia, sendo apresentados de formas distorcidas por estudantes em diferentes níveis de ensino, incluindo o ensino universitário (Lima et al, 2007; Paiva & Martins, 2004), e também nos materiais didáticos (Vilas-Boas, 2006). No entanto, apesar da dificuldade de compreensão conceitual, a genética tem ocupado grande espaço no debate biológico nas últimas décadas, tendo um grande número de realizações científicas, tais como pesquisas genômicas, clonagem, emprego de células-tronco e utilização de organismos transgênicos, divulgadas nos meios de comunicação em massa (Lima et al, 2007). Dessa forma, as temáticas relacionadas à genética ganharam novos espaços e passaram a fazer parte de um discurso presente na sociedade.

No que concerne especificamente à concepção do conceito de gene, bem como a relevância que a ação midiática pode exercer sobre a formação dessa concepção, Goldbach & El-Hani (2008) elencam a “necessidade de pesquisadores e professores contribuírem para uma apropriação crítica sobre o conceito de gene”, considerando a importância da abordagem do assunto em ambientes escolares e na divulgação científica. Ancorada a essa perspectiva,

[...] a construção de uma teoria da informação biológica e a difusão de uma abordagem mais ampla do conceito de gene, pode contribuir para desmitificar as representações que o público faz da genética, da biologia molecular, da genômica e de suas capacidades, reposicionando substancialmente o debate bioético, social, econômico, político e ecológico nesta era pós-genômica (Santos & El-Hani, 2009, s/p).

Assim, torna-se relevante buscar quais as considerações sobre esse conceito são encontradas nos cursos de formação de professores de Biologia, não apenas com professores das disciplinas de Genética e Biologia Molecular, mas também de outras disciplinas, uma vez que este conceito está inserido, direta ou indiretamente, na maioria das áreas que compõem o curso de Ciências Biológicas. Como apontam as discussões sobre ensino e aprendizagem de conceitos do conhecimento biológico, deve-se priorizar a relevância de um caráter interdisciplinar de aprendizagem de conteúdos, de forma que um mesmo conceito possa ser apresentado por enfoques adequados em cada área específica (Santos & El-Hani, 2009).

Considerando a discussão de conceitos relacionados à genética para a formação inicial de professores de Biologia e a necessidade de abordar a ciência como uma atividade dinâmica e histórica, na qual os conceitos científicos estão constantemente adequando-se, tratar-se-á nesse artigo de uma caracterização histórica do conceito de gene e do estabelecimento de relação desta com os conceitos apresentados por professores de cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas. Desse modo, objetiva-se nesse artigo: 1) explicitar a presença de diferentes conceitos de genes na história da biologia; 2) discutir a importância de abordar no contexto de ensino o conceito de gene mediante uma percepção sistêmica dos fenômenos e processos biológicos; 3) analisar concepções de gene presentes em professores universitários de duas universidades públicas.

Aspectos históricos e epistemológicos do gene: as múltiplas abordagens de um conceito

Do gene mendeliano ao conceito molecular clássico de gene

Johann Mendel (1822-1884) realizou experimentos com ervilhas durante oito anos (de 1856 a 1863), tendo investigado relações entre características dos progenitores e de sua prole, identificando traços dominantes ou recessivos e padrões matemáticos da herança a cada geração (Oliveira et al, 2004). Em fevereiro de 1865, compareceu à "Sociedade dos Naturalistas de Brünn", para apresentar seu trabalho "Experiências sobre híbridos vegetais", o qual foi publicado em 1866, nos "Anais da Sociedade de Pesquisas em Ciências Naturais de Brünn" (Sentis, 1970). Com base em suas experiências com ervilhas, "a teoria de Mendel consistia em que, para cada traço hereditário, uma planta era capaz de produzir dois tipos de células ovárias e dois tipos de grãos de pólen, cada um desses tipos representando o caráter paterno ou materno (quando respectivamente diferentes)" (Mayr, 1998, p.796). Como afirma Mayr (1998), Mendel postula que os caracteres são representados por elementos, mas não especifica o que são esses elementos e nem do que poderiam ser constituídos. Além disso, pensava que os elementos idênticos dos gametas masculinos e femininos poderiam fundir-se completamente após a fertilização, enquanto, se os elementos fossem diferentes, a associação na planta híbrida seria apenas temporária, sendo dissociada na formação de gametas dessa nova planta. Percebe-se que apesar da proposição da idéia de elementos que representam traços que são mantidos ao longo das gerações, Mendel não vincula essa representação a uma determinada estrutura, funcionando os elementos como uma unidade de cálculo estatístico para a compreensão da permanência e proporção de características evidenciadas em seus cruzamentos.

Outros pesquisadores, entretanto, evidenciaram o papel de partículas materiais ao estudar aspectos da hereditariedade. August Weismann (1834-1914) postulou uma hierarquia elaborada de unidades hereditárias que controlam a ontogênese. A menor dessas unidades seria o *bióforo*, que consistiria em um agregado de diversas moléculas, com capacidade de crescimento e replicação. O *bióforo* estaria presente tanto no núcleo quanto no citoplasma da célula, mesmo sendo as características do citoplasma determinadas pelo núcleo. Os *bióforos* se organizariam em unidades específicas mais complexas chamadas de *determinantes* que controlariam as propriedades do organismo. Os *determinantes* por sua vez juntam-se em uma arquitetura adquirida filogeneticamente, em unidades ainda mais complexas, os *ids*. O plasma germinal consistiria então em muitos *ids* que assim como os *bióforos* podem crescer e se multiplicar (Mayr, 1998). Para Mayr (1998), os componentes essenciais da teoria proposta por Weismann foram:

- (1) Para cada traço, existe uma partícula especial (*bióforo*);
- (2) Essas partículas podem crescer e se multiplicar, independente da divisão celular;
- (3) Tanto o núcleo como o citoplasma consistem nesses *bióforos*;
- (4) Um *bióforo* dado pode estar representado por muitas réplicas [...];
- (5) Durante a divisão celular, as células-filhas podem receber tipos e números diferentes de *bióforos* (divisão celular desigual) (Mayr, 1998, p.784).

A suposição da existência de elementos particulados relacionados à herança não era exclusiva de Weismann. O próprio Darwin propôs a existência de algum elemento desse tipo (*gêmulas*) em sua teoria da pangênese. Também o botânico Hugo de Vries (1848-1935) teceu hipóteses sobre a existência de unidades elementares da hereditariedade, chamando essas unidades de *pangenes*, um termo que ele introduziu em 1889, em um esforço para preservar o que havia de melhor, tanto nas *gêmulas* de Darwin como nos *determinantes* de Weismann (Keller, 2000).

No final do século XIX, Walter Flemming e Eduard Strasburger observaram, por meio de estudos microscópicos da célula animal, estruturas em forma de bastão dentro do núcleo das células, as quais denominaram cromossomos. Entre 1880 e 1890, Theodor Boveri realizando experimentos no campo da citologia percebeu que o número dos cromossomos das células germinativas se reduzia à metade em um determinado estágio de sua maturação, sendo este um dos primeiros indícios do processo de meiose (Oliveira et al, 2004). A partir desses acontecimentos, a atenção se volta aos cromossomos como estruturas individuais que permanecem constantes ao longo das divisões celulares. Alguns pesquisadores da época acreditavam que os cromossomos poderiam ser portadores do material hereditário (Reznik, 1995; Suzuki et al, 1992). Desse modo, em 1902,

Walter Sutton e Theodor Boveri deram início à teoria cromossômica da hereditariedade, segundo a qual as "partículas" da hereditariedade estariam localizadas nos cromossomos (Snustad & Simmons, 2001). Essas discussões aumentaram o interesse de se determinar a natureza dos fatores mendelianos, ou seja, compreender o que os fatores representavam, sua constituição, modo de ação e localização (Oliveira et al, 2004).

Em 1909, o geneticista dinamarquês Wilhelm Johannsen cunhou e conceituou o termo gene para se referir aos aspectos da herança biológica, conceito que desde então vem se estruturando e se modificando até os dias de hoje. O termo gene é proposto juntamente com a teoria da herança genotípica em seu livro *Elemente der exakten erblichkeitslehre* (Elementos exatos da hereditariedade genética). Como aponta Mayr (1998), antes de 1909 não havia um termo aceito de modo geral para denominar o fator genético que corresponderia a determinado caráter visível. Entretanto, é importante destacar que o termo gene é proposto com um valor instrumental, não estando associado à existência de uma partícula física material. Isso pode ser visto nas citações a seguir:

[...] vou propor os termos "gene" e "genótipo" e mais alguns termos, como "fenótipo" e "biótipo", a serem utilizados na ciência da genética. O "gene" é uma palavra muito pouco aplicável, facilmente combinado com outras, e, portanto, pode ser útil como uma expressão para a "unidade de fatores", "elementos" ou "alelomorfos" nos gametas, utilizadas por modernos pesquisadores mendelianos. O "genótipo" é a soma de todos os "genes", em um gameta ou em um zigoto [...] Todas as características de organismos, distinguíveis por inspeção direta da aparência ou por descrição dos métodos de medição, poderão ser caracterizadas como "fenótipo" (Johannsen, 1911, pp. 132-133).

Quanto à natureza dos "genes" não é de valor propor alguma hipótese, mas a noção de "gene" abrange uma realidade que é evidente a partir do Mendelismo. Os mendelianos têm o grande mérito de serem prudentes em suas especulações (Johannsen, 1911, p. 133).

Percebe-se que o conceito de gene proposto por Johannsen faz referência a um conceito abstrato relacionado à idéia de "fatores" ou "elementos" de Mendel. Nesse sentido, o *gene mendeliano* pode ser entendido como uma unidade instrumental de cálculo para expressar a regularidade da transmissão de caracteres fenotípicos em cruzamentos (Falk, 2000).

Ainda não havia uma aceitação geral pelos geneticistas da hipótese cromossômica da herança, contudo, entre 1910 e 1915, a situação sofre uma mudança a partir da publicação de uma série de trabalhos sobre hereditariedade em *Drosófilas*, no qual além de estabelecer evidências para a hipótese cromossômica são construídos os primeiros mapas indicando a localização e distância entre genes (Martins, 1998).

Em meados de 1910, Thomas Hunt Morgan e seus colegas de trabalho da Universidade de Harvard observaram que a mosca-das-frutas (*Drosophila melanogaster*) apresentava gerações com inúmeros indivíduos mutantes, diferindo por características fenotípicas facilmente perceptíveis, como a cor dos olhos, o tamanho e a forma das asas. Analisando-se inúmeros cruzamentos, demonstraram que as moscas se distinguiam umas das outras porque ocorria uma complexa recombinação dos genes a cada nova geração (Oliveira et al, 2004, p. 6).

Com os trabalhos de Morgan, estabelece-se de maneira mais forte a relação entre os genes (correspondendo estes aos fatores mendelianos de herança) e as estruturas cromossômicas. Nesse contexto, estudiosos dos mais diversos campos científicos (químicos, físicos, bioquímicos, entre outros) se debruçaram sobre os problemas biológicos da herança, tornando a busca pela compreensão do material hereditário intensa e competitiva (Solha & Silva, 2004).

Até a metade do século XX, acreditava-se que as proteínas eram responsáveis diretas pela propagação da informação hereditária, já que eram as únicas moléculas consideradas suficientemente complexas pela comunidade científica para realizar uma função tão importante

quanto à da hereditariedade. Atribuir a natureza química dos genes às proteínas era uma hipótese aceitável até o ano de 1928, quando surgiram evidências de que o material genético era um ácido nucléico.

Em 1928, o médico inglês Frederick Griffith (1877-1941) realizou experiências com bactérias *Pneumococcus*, encontradas em casos de pneumonia. No decorrer da pesquisa, ele percebeu a presença de tipos diferentes de *Pneumococcus* em uma amostra de secreção coletada de um paciente. Para explicar essa observação, realizou vários experimentos envolvendo a transformação de um tipo de *Pneumococcus* em outro a partir da inoculação de culturas em ratos. Os resultados dos experimentos de Griffith são explicados pelo fato de que as bactérias que são envolvidas por uma cobertura de polissacarídeo como proteção apresentam uma superfície externa lisa (S, do inglês, smooth) e são virulentas, ou seja, levam à morte. Existem variações dessas bactérias que, por falha metabólica, não produzem este envoltório externo (são menos virulentas), o que lhes determina uma aparência externa rugosa (R). Dessa forma, os experimentos mais decisivos consistiram em injetar, num mesmo camundongo, *Pneumococcus R* vivos e *Pneumococcus S* mortos. O interessante é que os camundongos adquiriram a pneumonia letal (oriunda dos *Pneumococcus S*) e morreram. Griffith ainda encontrou nesses hospedeiros várias colônias dos *Pneumococcus S* vivos, concluindo que havia alguma substância que “transformava” os bacilos mais brandos em bacilos fatais. Os pesquisadores contemporâneos de Griffith concluíram que a substância capaz de estimular essa “transformação” deveria ser o material genético dos *Pneumococcus S* (Batisteti et al, 2009; Griffith, 1966; Snustad & Simmons, 2001).

Os primeiros indícios experimentais de que os genes atuam por meio do controle da síntese das enzimas foram obtidos em meados da década de 1930. Os pesquisadores George W. Beadle, Boris Ephrussi e Edward L. Tatum mostraram que a cor alterada do olho de um mutante da mosca *D. melanogaster* devia-se à incapacidade do inseto de realizar uma reação química específica na via metabólica da síntese de um pigmento visual. Entusiasmados com os resultados obtidos com o estudo da mosca, mas cientes de que aquele era um organismo muito complexo para o teste de sua hipótese, Beadle e Tatum resolveram utilizar um organismo mais simples em seus experimentos: o bolor rosado do pão, *Neurospora Crassa*. No ano de 1941, os cientistas George Beadle e Edward Tatum mostraram, por meio de experimentos com o fungo vermelho do pão, *Neurospora crassa*, que os genes agem regulando eventos químicos distintos (Snustad & Simmons, 2001).

Beadle e Tatum imaginaram que, para produzir todos os seus componentes, as células do fungo deviam realizar milhares de reações químicas, cada uma delas catalisada por uma enzima específica. Se a hipótese de que cada enzima é codificada por um gene específico estivesse correta, para cada reação metabólica devia haver um gene correspondente responsável pela produção da enzima catalisadora específica. O que aconteceria se um desses genes essenciais à sobrevivência sofresse mutação, produzindo uma forma inativa da enzima? Em uma primeira etapa, para aumentar a frequência de mutação dos genes, Beadle e Tatum irradiaram esporos do fungo com raios X. Os esporos irradiados eram colocados em tubos de ensaio que continham diferentes meios de cultura. Para selecionar um mutante incapaz de produzir aminoácido arginina, por exemplo, bastava suplementar o meio mínimo com arginina: os fungos mutantes absorviam essa substância do meio e sobreviviam a sua deficiência genética. Um problema dessa técnica é que nos meios mínimos suplementados cresciam também fungos selvagens, isto é, que não haviam sofrido mutações. Como diferenciar um fungo selvagem, em que o gene para sintetizar arginina é funcional (arg +), de um fungo mutante, portador de um alelo defeituoso do gene (arg -)? Beadle e Tatum encontraram solução retirando uma pequena amostra de cada fungo cultivado no meio suplementado e transferindo-a para o meio mínimo. Os fungos que se desenvolviam também em meio mínimo eram selvagens (arg +), os que não sobreviviam no meio mínimo eram mutantes (arg -), naquele caso incapazes de produzir arginina (Snustad & Simmons, 2001; Watson & Berry, 2005). Eles concluíram que a função de um gene é dar instruções para a formação de uma enzima particular, que regula um evento químico. Beadle e Tatum propuseram que, em geral, um gene codifica para a

produção de uma enzima. A hipótese de Beadle e Tatum ficou conhecida como "um gene, uma enzima". Como apontam Santos & El-Hani (2009), inicialmente os resultados da bioquímica apontavam uma relação entre um traço fenotípico e uma enzima específica produzida pelo gene. Contudo,

A compreensão de que nem todos os produtos gênicos são enzimas levou a mudança da fórmula 'um gene - uma enzima' para 'um gene - uma proteína'. Posteriormente, quando se descobriu que havia proteínas constituídas por várias cadeias polipeptídicas, codificadas por genes distintos, passou-se usar a fórmula 'um gene - um polipeptídeo'. A compreensão de que RNAs também podem ser produtos gênicos levou, enfim ao esquema 'um gene - um polipeptídeo ou RNA'. Em todos esses esquemas preserva-se a idéia de unidade, que é anterior ao próprio conceito de gene, mas foi incorporada a ele, como um de seus aspectos centrais (Santos & El-Hani, 2009, s/p).

Por volta de 1944, um grupo de cientistas, coordenado por Oswald Theodore Avery, com base no experimento de Griffith, evidenciou - por meio de experimentos de inoculação de bactérias em camundongos - que a informação genética era armazenada no DNA. Essa consideração foi corroborada oito anos depois pelo clássico experimento de Alfred Hershey e Martha Chase com culturas de fagos. Este fato evidenciou a importância do papel desempenhado pelo DNA na hereditariedade, embora a comunidade acadêmica em geral ainda se mostrasse um pouco relutante em considerar que tal molécula fosse capaz de trazer consigo a informação genética (Batisteti et al, 2009).

Somente em 1953, James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin publicaram os resultados de suas investigações que levaram a proposição de um modelo da estrutura físico-química em dupla hélice do DNA que oferecia, ao mesmo tempo, uma explicação para a estabilidade do gene, ou seja, para a estabilidade intergeracional de características estruturais, e para o mecanismo de auto-duplicação do gene. Neste sentido, a associação da idéia de gene como unidade real e estrutural foi corroborada pelas evidências do DNA como material genético da célula e pelo modelo de estrutura do DNA (Nascimento, 2003). A partir desse modelo se estabeleceu o conceito de gene molecular clássico.

O conceito molecular clássico de gene e as inconsistências apontadas pelas pesquisas genéticas

A descrição da molécula de DNA e os estudos que se seguiram a isso permitiram a formulação do conceito molecular clássico de gene, no qual se entende o gene tanto como unidade estrutural quanto como unidade funcional. Como unidade de estrutura, pois o gene é entendido como: "um segmento contínuo cuja sequência de bases codificantes não sofre interrupções; discreto, por ser uma unidade individual que não se sobrepõe a outros genes; com começo e fim bem definidos; e localização constante" (Santos & El-Hani, 2009, s/p). Como uma unidade funcional pelos genes serem capazes de "produzirem um único polipeptídeo ou um único RNA, que, por sua vez, teria uma função única" (Santos & El-Hani, 2009, s/p). Santos & El-Hani (2009) destacam que a inserção de um discurso informacional na Biologia acabou configurando o gene também como unidade que carrega informações em suas sequências de base, ou seja, um conceito informacional de gene, que é muitas vezes, sobreposto ao conceito molecular clássico.

O conceito molecular clássico ficou conhecido como "dogma central da biologia molecular", no qual se afirma que a passagem da informação genética segue do DNA para o RNA e daí para as proteínas. Nesse dogma estariam representadas as duas funções primordiais da molécula de DNA: 1) a auto-reprodução das informações genéticas; 2) a indução da síntese de proteínas que constituem a estrutura dos organismos (Waizbort & Solha, 2007). No entanto, nas últimas três décadas, uma série de fenômenos colocou desafios importantes para o 'conceito molecular clássico' de gene. Entre os desafios, encontram-se a existência de genes interrompidos, o *splicing* alternativo de RNA, os transposons, os genes superpostos e nidados (*nested genes*, que são genes que são

encontrados dentro de outros genes) e a edição de RNA mensageiro (RNAm) (Santos & El Hani, 2009).

O DNA de eucariontes constitui-se tanto de íntrons quanto de éxons e, como consequência, o RNA primariamente transcrito consiste em uma sequência muito grande de nucleotídeos que, a posteriori poderá ser editado de várias formas (Fardilha et al, 2008). O transcrito primário (RNA precursor) sofre um processo de corte e reunião, sendo que estes podem se realizar de formas distintas, produzindo RNAs distintos de acordo com o processamento ocorrido. Dessa forma, a partir de um único segmento de DNA é possível gerar por meio do processamento do RNA precursor uma variedade de RNAs, e conseqüentemente, no processo de tradução, uma variedade de cadeias polipeptídicas. Para Fardilha et al (2008, p. 41), o *splicing alternativo* “explica não só a diversidade entre organismos com um conjunto de genes semelhantes, mas também permite que diferentes tipos de tecidos tenham diferentes funções com base nos mesmos genes, bastando que os editem de um modo diferente para produzir proteínas diferentes”.

Como aponta Waizbort & Solha (2007, p. 71), o processamento alternativo é um processo de ocorrência comum, estimando-se que de 40 a 60% dos genes humanos são processados alternativamente, sendo os eventos de processamento alternativos bastante específicos, ocorrendo em “tecidos particulares e em momentos precisos do desenvolvimento do organismo e/ou somente sob certas condições fisiológicas”. Além disso, o processamento alternativo é apenas um dos eventos que ocorrem entre a transcrição do DNA e a tradução, sendo conhecidos cerca de 200 tipos de processos diferentes (Brett et al, 2002). Dessa maneira, é possível compreender como a dinâmica celular e eventos orgânicos agem influenciando o processo de expressão gênica, o que corrobora com a idéia da complexidade do mesmo, bem como com a mudança de entendimento da linearidade processual um gene - uma proteína.

O Projeto Genoma, desenvolvido na década passada, foi importante para evidenciar a complexidade da dinâmica celular, pois se imaginava que o número de genes no genoma humano fosse muito superior ao encontrado. Como afirmam Fardilha et al (2008, p. 40),

[...] depois de vários genomas terem sido completamente descritos, como o de *Caenorhabditis elegans*, um nemátode com pouco mais de 1000 células e 19.500 genes, ou o do milho, com aproximadamente 40.000 genes, pensou-se que o genoma humano consistiria em mais de 100.000 genes. No entanto, o Projeto do Genoma Humano revelou, com alguma surpresa, que existiam pouco mais de 30.000 genes codificantes.

A explicação para esse fato recorre-se ao que foi descrito nos parágrafos anteriores, sendo uma elucidação das conseqüências do processamento alternativo: uma grande variedade de proteínas sendo traduzidas a partir de um número reduzido de genes (Nascimento, 2003).

O Projeto Genoma acabou intensificando a discussão do conceito de gene, potencializando a visão mais sistêmica, que considera o DNA como uma das moléculas a integrar a complexa rede de relações que constituem o organismo, evidenciando as inconsistências do conceito molecular clássico de gene. De acordo com Keller (2000), ao invés de reforçar as noções familiares de determinismo genético - de acordo com as quais o gene se tornou a entidade conceitual central da apoteose da genética do século vinte - os resultados do sequenciamento completo do genoma humano teriam, ao contrário de todas as expectativas, suscitado um desafio crítico a essas noções clássicas da história da genética.

Segundo El-Hani (2007), as principais dificuldades na manutenção do conceito molecular clássico de gene estão relacionadas com a superação da idéia do gene como “unidades” estruturais e/ou funcionais no genoma, contestada pelas evidências que demonstram a complexidade e a diversidade da organização do genoma. Desse modo, em função dos avanços científicos obtidos pela Biologia Molecular, o conceito clássico de gene torna-se inconsistente, propiciando uma visão

crítica e epistemológica que considera os conceitos biológicos susceptíveis a adequações constantes, contribuindo para uma visão dinâmica da ciência.

O conceito de gene em debate: a convivência de diferentes conceitos de gene na atualidade

As inconsistências relativas ao conceito molecular clássico de gene demonstram a inviabilidade de uma definição única do gene como sequência estática e bem demarcada no DNA. Assim, na literatura atual, encontram-se diferentes definições de gene, cada qual utilizada em determinado contexto de pesquisa e/ou área de interesse.

Joaquim et al (2007) destacam que três definições principais de gene são encontradas em livros didáticos de genética e biologia celular e molecular de diferentes níveis de ensino: o conceito mendeliano de gene, o conceito molecular clássico de gene e a concepção informacional de gene. Além dessas definições, já explicitadas nos tópicos anteriores, outras tentativas de explicitar o conceito de gene são encontradas na literatura, tais como: diferenciação entre Gene P e Gene D; gene evolutivo; gene molecular processual; e conceito sistêmico de gene.

Moss (2006) evidencia que as dificuldades de se definir gene ocorrem por uma tendência em se confundir dois sentidos diferentes de gene, cada um válido em certo domínio disciplinar. Um dos sentidos é definido por uma relação preditiva a um fenótipo, *Gene-P*, sendo indeterminado em relação à sua base material (isto é, sua sequência de DNA). Assim, qualquer gene que é um gene “para” uma doença ou característica seria um *Gene-P*. *Gene-D*, ao contrário, é o sentido de um gene quando é definido por uma sequência de ácido nucléico que fornece o modelo de recurso (ou informações) para algum conjunto de potenciais polipeptídeos ou produtos de RNA, no entanto, o *Gene-D* é indeterminado em relação ao resultado fenotípico, pois mediante as inúmeras modificações contextuais, o mesmo *Gene-D* pode ser um fator que contribui para resultados fenotípicos completamente diferentes, até mesmo contraditórios. O reconhecimento de que há duas formas de entender o conceito de gene, mas que estas não se sobrepõem, leva a conclusão de que a tentativa de interpretar um gene como sendo uma sequência molecular específica correspondendo a um traço fenotípico específico, confunde dois domínios distintos, gerando as inconsistências na definição de gene.

Outra definição do conceito de gene encontrada na literatura é o de *gene evolutivo*, que pode ser considerado como qualquer trecho de DNA, começando e terminando em pontos arbitrariamente escolhidos no cromossomo, que compete com trechos alelomórficos pela região cromossômica em questão. Essa definição está presente, por exemplo, no trabalho de Dawkins (2001, p.54), no qual define gene como “uma unidade genética pequena o suficiente para durar por um grande número de gerações e ser distribuída sob a forma de muitas cópias”.

Na ampla rede de relações estabelecidas nas últimas décadas, o gene pode ser ainda relacionado a processos que têm lugar no contexto celular e extracelular, bem como a fatores epigenéticos pertinentes a sua expressão funcional. A depender do contexto de sua expressão, diferentes regiões do DNA podem cooperar de múltiplas formas para gerar diferentes produtos no tempo e espaço, e os produtos gênicos, por sua vez, podem funcionar de maneiras distintas em diferentes circunstâncias intra e extracelulares (Santos & El-Hani, 2009). Esta definição foi apresentada por Griffiths & Neumann-Held (1999) como o conceito de *gene molecular processual*, na qual reconhecem o gene “como um processo molecular inteiro com capacidade de expressar um particular produto polipeptídico” (Griffiths & Neumann-Held, 1999, p.661), constituindo em uma tentativa de reconhecer vias e processos moleculares correspondentes a determinado produto.

Segundo Santos & El-Hani (2009), outra definição relacionada ao conceito de gene, incorporando elementos interativos das sequências do DNA ou RNA com o ambiente celular,

orgânico ou ambiental é o *conceito sistêmico de gene* apresentado por Pardini & Guimarães (1992). Pardini & Guimarães (1992, p. 716) entendem que “a relação entre informação codificada e o produto de sua codificação é complexa, variando de acordo com as condições espaciais e temporais de ocorrência”. Nesse contexto, os autores definem gene como “a combinação de (uma ou mais) sequências de ácidos nucléicos (DNA ou RNA), definidas pelo sistema (a célula, interação com o ambiente, ou o ambiente sozinho, no caso de sistemas sub-celulares ou pré-celulares), que correspondem a um produto (RNA ou polipeptídeo)” (Pardini & Guimarães, 1992, p. 716).

Percebe-se que o gene na atualidade tornou-se polissêmico, tendo diferentes significados que convivem na literatura científica. No entanto, como afirmam Joaquim et al (2007, p.4),

[...] o problema não está no fato do termo ‘gene’ ter vários sentidos [...] O problema reside, antes no fato de que os vários significados do termo ‘gene’ e seus respectivos contextos de aplicação não se mostram suficientemente claros e bem demarcados, o que acaba por gerar uma grande ambiguidade e confusão semântica no emprego do termo.

Estes diferentes conceitos demonstram a necessidade de reavaliação da abordagem de gene, uma vez que é necessário o entendimento do contexto, no qual cada uma dessas definições é utilizada, evitando a ambiguidade e confusão semântica nas discussões conceituais. Deste modo, faz cada vez mais sentido, falar em certa crise epistemológica e teórica da noção de “gene”, que segundo Leite (2003), vem coincidindo com outra espécie de crise associada aos poderes reais ou imaginários que o gene desencadeou no campo da filosofia social e política. Isso se reflete no fato de que as ideias deterministas genéticas perdem forças ao mesmo tempo em que se evidencia que a dinâmica celular e orgânica é muito mais complexa, sendo dependente de fatores ambientais e celulares.

Considera-se, portanto, que a definição de gene precisa ser mantida com certa flexibilidade para englobar as diferentes relações entre estrutura e função que ocorrem em diferentes organismos, sendo relevante repensar o cerne conceitual da genética, incluindo novos conceitos de gene adequados aos seus contextos de aplicação, tendo como premissa a necessidade de uma abordagem sistêmica desse conceito.

A crise do conceito de gene e o Ensino de Biologia: de uma visão determinista genética a uma visão sistêmica dos processos biológicos

Vários estudos têm evidenciado dificuldades apresentadas tanto por alunos como por professores em relação a questões referentes aos assuntos de genética. Essas dificuldades se devem tanto à complexidade dos conceitos que essa área comporta quanto à forma da escola conceber, organizar e desenvolver o ensino (Banet & Ayuso, 1995; Scheid et al, 2005). Por exemplo, pesquisas realizadas com o objetivo de levantar e/ou analisar os conhecimentos e a compreensão de jovens estudantes sobre genética e a percepção destes sobre questões suscitadas pela aplicação das novas tecnologias genéticas (Lima et al, 2007; Joaquim et al, 2007; Scheid & Ferrari, 2006) revelam que, muitas vezes, nem mesmo conceitos básicos de genética, como a relação DNA/cromossomo e a finalidade dos processos de mitose e de meiose, são compreendidos pelos estudantes. Outros autores apontam ainda que uma das causas que pode atrapalhar o aprendizado dos estudantes de genética está diretamente relacionado a forma de organização dos conteúdos e aos próprios livros didáticos que geralmente não seguem uma sequência adequada e também não conseguem relacionar os diferentes conteúdos de genética, como, por exemplo, a genética mendeliana e a molecular, o que como consequência pode causar ou fortalecer os erros dos alunos (Banet & Ayuso, 1995; Ayuso et al, 1996). Entretanto, apesar da dificuldade conceitual inerente ao debate sobre gene, o Ensino de Biologia deve proporcionar aos estudantes uma visão dinâmica dos seres vivos, em que a molécula de DNA seja vista apenas como mais um componente na intrincada rede de interações celulares e orgânicas.

A discussão de que o conceito de gene está em crise pode permitir a diminuição da visão determinista genética que tem sido muito difundida pela mídia. El-Hani (2007) destaca que apesar da crise do conceito de gene estar sendo amplamente discutida na literatura filosófica e também na comunidade científica, ainda predomina no Ensino de Biologia o conceito molecular clássico. O autor destaca a importância de introduzir no ensino o reconhecimento da diversidade de conceitos de gene utilizados em diferentes áreas, atentando para a delimitação dos domínios de aplicações de cada conceito. Outro aspecto importante seria evitar uma visão gene-cêntrica (ou DNA-cêntrica), atribuindo ao DNA o papel que ele realmente tem nos processos celulares (El-Hani, 2007). Dessa forma, a inserção da discussão atual sobre gene pode permitir um entendimento crítico em relação às características dos organismos, levando os alunos a uma reflexão em relação às notícias divulgadas pela mídia, nas quais o gene é visto, muitas vezes, como único elemento determinante de características físicas e sociais. Por outro lado, a inclusão de aspectos históricos referentes ao conceito de gene pode evidenciar o caráter dinâmico da ciência, destacando que o conceito de gene tem sofrido modificações desde a criação desse termo, apontando que um conceito não corresponde a uma “verdade”, mas a uma definição que se ajusta a determinados contextos e períodos históricos. Nessa situação, a discussão sobre o conceito de gene se torna indispensável, não apenas na literatura científica e filosófica, mas também nas salas de aula, que são locais privilegiados de contato dos estudantes com este tema, nos quais uma discussão bem informada sobre a crise do conceito pode ajudar os estudantes a formularem uma compreensão mais crítica a este respeito (Joaquim et al, 2007).

Sugere-se que o conceito de gene deveria ser abordado nos diferentes níveis de ensino, inserindo-se uma visão sistêmica dos processos biológicos, a qual pressupõe compreender que os organismos são resultantes de interações biológicas em diferentes níveis de organização. Pensando que a discussão sobre genes é recente e na importância dessa ser realizada no Ensino de Biologia, é importante investigar a presença desse debate no Ensino Superior, em particular, nos formadores de futuros professores de Biologia. Dessa forma, esse trabalho se propõe a investigar as várias definições de gene encontradas em professores universitários da Licenciatura em Ciências Biológicas em duas universidades públicas.

As diferentes ideias de gene apresentadas por professores universitários

O conceito de gene apresentado por professores do Ensino Superior foi investigado em duas universidades públicas, sendo uma da região sul (Universidade U1) e outra na região sudeste (Universidade U2) do Brasil. A metodologia constituiu-se na aplicação de um questionário com oito questões, adaptado dos instrumentos de pesquisa utilizados por Stotz et al (2004) e Joaquim et al (2007), aos professores de dois cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas.

O questionário foi aplicado para 28 professores, sendo 17 professores da Universidade U1 e 11 da universidade U2. No presente trabalho foram analisadas as respostas de duas questões do questionário aplicado, mediante procedimentos qualitativos, utilizando categorias de análise fundamentadas na revisão teórica realizada. A análise relativa aos conceitos de gene apresentados por professores universitários teve por base uma questão dissertativa: “O que é gene?” e outra de múltiplas alternativas, dentre as quais o professor deveria escolher apenas uma, justificando sua escolha. No *Quadro 1*, explicitam-se as duas questões analisadas.

As categorias utilizadas para subsidiar a interpretação dos dados da pesquisa estão apresentadas no *Quadro 2* e são indicadas pela letra *C* acompanhada de um número algébrico. A correspondência entre as categorias e as alternativas presentes na questão de múltipla escolha (*Questão 2*) estão também indicadas no *Quadro 2*. As categorias apresentadas foram organizadas buscando representar diferentes concepções sobre gene encontradas na literatura. Esta apresentação foi organizada de forma não linear ou cronológica, pois, considerou-se que estas concepções mesmo

surgindo em diferentes momentos históricos coexistiram e algumas coexistem tanto na literatura como na ciência contemporânea.

Quadro 1: Questões sobre gene respondidas pelos professores.

Q1 - O que é gene?

Q2 - Qual destas definições (escolha apenas uma) sobre o conceito de gene mais se aproxima de sua forma de pensar (adaptada de Stotz et al, 2004; Joaquim et al, 2007)? Justifique sua escolha.

- a) Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie.
- b) Um gene é uma sequência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.
- c) Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outras informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico.
- d) Um gene é um determinante de fenótipos ou diferenças fenotípicas.
- e) Um gene é um recurso para o desenvolvimento, lado a lado com outros recursos (epigenéticos, ambientais) igualmente importantes.
- f) Um gene é um processo que inclui sequências de DNA e outros componentes, que participam na expressão de um produto polipeptídico ou um RNA particular.
- g) Um gene é qualquer segmento de DNA, começando e terminando em pontos arbitrários de um cromossomo, que compete com segmentos alelomórficos pela região do cromossomo em questão.
- h) Um gene é uma sequência de DNA com uma estrutura característica.
- i) Um gene é uma sequência de DNA com uma função característica.
- j) Um gene é uma sequência de DNA que contém uma informação específica
- k) Um gene é um termo versátil cujo significado é determinado pelo contexto no qual é utilizado.

Justificativa:

A categoria C1 representa a ideia de gene mendeliano, compreendendo a existência de uma unidade de herança que não tem representação material, ou seja, tem um caráter instrumental para representar aspectos hereditários ao longo das gerações. As categorias C2, C3 e C8 representam o gene como uma unidade de estrutura, função e/ou informação, sendo a categoria C2 correspondente ao conceito molecular clássico, uma vez que, associa a ideia do gene como unidade estrutural e funcional, podendo ainda se vincular a ideia do gene como unidade informacional. Enquanto, as categorias C3 e C8 apresentam alguns aspectos do conceito molecular clássico, mas não tem as ideias de gene como unidade de estrutura e função apresentadas conjuntamente. A categoria C7 apresenta a ideia de uma unidade de herança que é propagada nas populações, estando relacionada a aspectos adaptativos e evolutivos de uma espécie.

As categorias C4, C5, C6 e C9 apresentam discussões mais atuais sobre o conceito de gene. As categorias C4 e C5 correspondem à proposta de Moss (2006), entendendo que existem dois diferentes domínios para a conceituação de gene, um representando recursos do desenvolvimento sem correspondência direta com aspectos fenotípicos do organismo, e o outro relativo à unidade de características fenotípicas, mas com a base material indeterminada. A categoria C6 está relacionada a respostas que revelaram processos interativos moleculares, orgânicos e/ou ambientais na conceituação de gene, apresentando uma abordagem mais sistêmica e que contempla tanto as respostas dos professores que enfatizaram a existência de processos moleculares que permitem a produção de um determinado produto funcional no organismo quanto às respostas mais amplas que incluíram a interação orgânica e ambiental na conceituação de gene. Por fim, a categoria C9 representa a possibilidade da existência de diferentes formas de conceituar gene, sendo estas relacionadas a domínios específicos do conhecimento científico.

Quadro 2: Categorias utilizadas para a análise dos conceitos de genes presentes em professores universitários.

	Categoria	Alternativas correspondentes na questão 2	Definição
C1	Gene Mendeliano	A	Gene como unidade de herança/ hereditariedade (não possui vínculo direto com uma estrutura física e/ou molecular).
C2	Gene Molecular Clássico	B e I	Gene como uma sequência de DNA que codifica a produção de um polipeptídeo ou RNA (combina os aspectos: estrutural + funcional ou estrutural + funcional + informacional).
C3	Gene Estrutural + Informacional	C e J	Gene como estrutura que guarda ou transmite informações, sem estabelecer correspondência com produtos funcionais.
C4	Gene P	D	Gene como unidade de fenótipos (características) que pode ser propagada dentro da espécie. Ênfase na constituição de fenótipos, sem a preocupação em encontrar uma unidade específica ou o processo molecular que leve a formação desse fenótipo.
C5	Gene D	E	Gene como recursos do desenvolvimento, ao contrário do Gene P, enfatiza processos moleculares que permitem o desenvolvimento, mas sem se preocupar em identificar fenótipos específicos a cada um deles.
C6	Gene Sistêmico	F	Gene como processo que integra diversos elementos (moleculares, celulares, orgânicos e/ou ambientais), culminando com a produção de determinadas produtos e/ou características no organismo.
C7	Gene Evolutivo	G	Gene como unidade de herança (fragmento de DNA) que compete pela sobrevivência e pela sua propagação.
C8	Gene Estrutural	H	Gene como unidade física (DNA, cromossomo, etc.).
C9	Termo Versátil	K	Gene como conceito polissêmico, definido de acordo com seu contexto de aplicação.

As respostas obtidas a partir da questão dissertativa “O que é gene?” estão representadas no *Quadro 3*, onde: as categorias são indicadas pela letra *C* acompanhada por número algébrico; a universidade é representada pela letra *U* acompanhada pelo número 1 ou 2, sendo 1 correspondente a universidade da região sul e 2 a universidade da região sudeste; o professor é indicado pela letra *P* acompanhada por números algébricos. Na discussão de fragmentos de respostas apresentadas pelos professores no questionário, a notação para o sujeito na análise dos dados segue o modelo $U_x/P-y$ ($U1/P-01$, $U2/P-02$...).

Quadro 3: Categorias referentes ao conceito de gene: C1– Gene Mendeliano; C2 – Gene Molecular clássico; C3 – Estrutural + informacional; C4 – Gene P; C5 – Gene D; C6 – Gene Sistêmico; C7 – Gene Evolutivo; C8 – Gene Estrutural; C9 - Termo versátil.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Professores U1	-	P-02 P-03 P-04 P-06 P-07 P-08 P-12 P-15 P-16 P-17	P-09 P-14	-	-	P-01	P-11	P-05 P-10	P-13
Professores U2	P-07	P-01 P-05 P-06 P-08 P-11	P-02	-	-	-	P-09	P-03 P-04 P-10	-

Na análise da primeira questão, observa-se maior frequência de respostas que se assemelham ao conceito molecular clássico de gene em relação às demais categorias, nas duas universidades. Quinze professores elaboraram respostas condizentes com o conceito molecular clássico. A condição para a inclusão das respostas dos professores nessa categoria (2) foi a identificação do gene como unidade estrutural e funcional, somando-se, muitas vezes ao caráter informacional do mesmo. Alguns exemplos de respostas colocadas nessa categoria estão apresentadas a seguir:

U1/P-03: São sequências de DNA que codificam as moléculas de RNA diretamente envolvidas na mudança de enzimas e proteínas estruturais.

U1/P-12: É um segmento do DNA com começo meio e fim (extremidades 5' e 3'). Apresenta regiões promotoras e todas as informações necessárias para o desenvolvimento da transmissão e da tradução de um polipeptídeo (quando este é o produto final, pois este pode ser também um RNA).

U2/P-06: Molécula de DNA transmissíveis de geração a geração. O gene controla o funcionamento da célula e as suas informações orientam a síntese protéica.

Sugere-se que a presença mais frequente deste conceito em relação aos demais, entre os professores das universidades investigadas, pode ser influenciada pelo marco histórico que este representou e por aparentemente produzir uma explicação coerente para a estabilidade da herança. Waizbort & Solha (2007) indicam que mesmo o conceito molecular clássico sendo procedente de pesquisas realizadas na década de 1960 e tendo sido desafiado por muitos estudos da biologia molecular, essa definição continua a mais utilizada em livros modernos de biologia celular e molecular. Estes livros interferem diretamente na visão dos professores universitários, os quais se apropriam dos modelos e explicações apresentadas nesses materiais didáticos e assim, mesmo que frequentemente apresentem conteúdos recentes da biologia molecular, continuam configurando o gene apenas como um trecho de DNA que permite a transcrição de RNA e codifica uma proteína. Ressalta-se que professores universitários, muitas vezes, chegam a trabalhar em sala processos como o *splicing* alternativo, porém não percebem, ou relutam em expor como esse processo interfere na abordagem do conceito de gene. Nesse sentido, os dados encontrados na pesquisa aqui

apresentada são corroborados pelo estudo feito por Stotz et al (2004) com cientistas australianos, no qual as respostas indicam que o conceito de gene molecular clássico continua a agir como um importante ponto de partida para biólogos em conceituar o gene. Também a pesquisa realizada sobre o conceito de gene com 112 estudantes de graduação em biologia de duas universidades brasileiras, realizado por Joaquim et al (2007), encontrou que o conceito molecular clássico prevaleceu nas respostas dos estudantes. Portanto, existem indicativos que tanto entre os professores/pesquisadores quanto entre estudantes de cursos de Biologia o conceito molecular clássico de gene ainda é o mais presente.

Outro conceito que esteve presente nas respostas de cinco professores foi de gene estrutural (Categoria 8), o qual enfatiza o gene apenas como estrutura física (DNA, cromossomo, etc.). Uma das respostas que configurou essa categoria foi:

U2/P-10: São subunidades contidas nos cromossomos, hereditárias e diferenciadas dependendo da constituição de cada gene.

No que se refere às respostas dos professores para a categoria 8, todas evidenciam o gene como determinada unidade localizada em um ponto específico, sem considerar o processo de interação celular, orgânica e ambiental que interfere na expressão gênica. Segundo El-Hani (2007), inicialmente o gene molecular tinha uma estrutura bem definida, com começo e fim facilmente determináveis, porém, os problemas do conceito de gene como unidade estrutural tiveram início quando Jacob e Monod, em 1961, propuseram o modelo *operon*. Este se refere a um conjunto interligado de elementos regulatórios e genes estruturais cuja expressão é coordenada pelo produto de um gene regulador situado em outra parte do genoma. Assim, não estava claro no modelo do *operon* como identificar as unidades envolvidas: se a unidade consistia no conjunto de genes estruturais e regulatórios que atuavam em conjunto, ou se cada gene deveria ser tratado individualmente, como uma unidade. Problemas como estes desafiaram a idéia de gene como unidade estrutural.

O conceito informacional de gene também apareceu associado a uma base estrutural (Categoria 3), sem evidenciar a produção de produtos funcionais ou fenotípicos, em três respostas dos professores, ressaltando a idéia de gene como uma sequência física que guarda ou transmite informações. Isso pode ser observado, por exemplo, na resposta do professor U1/P-14.

U1/P-14: É onde está contida as informações genéticas de hereditariedade.

O conceito de gene mendeliano trata o gene como uma unidade de herança/hereditariedade, sem vínculo direto com uma estrutura física ou molecular, uma vez que, este conceito antes de ser associado a estruturas físicas como o cromossomo, teve um caráter instrumental para a realização de cálculos relativos às características fenotípicas apresentadas. Na amostra de 28 professores universitários investigados, apenas uma resposta (U2-P7) à primeira questão se aproximou da idéia de gene mendeliano (Categoria 1):

U2/P-07: Unidade básica e fundamental da hereditariedade.

Destaca-se que o conceito de gene passou de um caráter instrumental para um concreto no período entre o início do século XX até a formulação do conceito molecular clássico. No entanto, a crise do conceito de gene que se seguiu a essa formulação, fez com que fosse repensado o caráter concreto do gene (como uma estrutura que tem identificação exata no DNA e função específica). Algumas das definições de gene presentes atualmente, por exemplo, os conceitos de Gene D e Gene P propostos por Moss (2006), evitam associar uma estrutura física a um produto fenotípico apresentado pelo organismo.

Em duas respostas (Categoria 7) pode-se associar o conceito apresentado ao de gene evolutivo. De acordo com este conceito, o gene é um segmento qualquer de DNA, que começa e termina em pontos arbitrários de um cromossomo, e compete com segmentos alelomórficos pela região do cromossomo em questão. Segundo Santos & El-Hani (2009) este conceito enfatiza que o gene também pode exercer a função de unidade de seleção. Sendo este o conceito mais influente na biologia evolutiva, apesar da diminuição de sua influência em anos recentes.

U1/P-11: É uma região do DNA responsável pelo fenótipo das espécies bem como suas características evolutivas embora muitas vezes estas estão ligadas a um conjunto de genes.

Ainda, uma resposta (Categoria 9) conceituou o gene como um conceito polissêmico, no qual o gene pode ser utilizado de maneiras diferentes de acordo com o contexto de pesquisa. No entanto, essa resposta provavelmente foi influenciada pela leitura que o sujeito realizou da questão objetiva, pois é semelhante ao enunciado presente na mesma. A resposta correspondente a esta visão está representada abaixo:

U1/P-13: É um termo versátil e complexo cujo significado depende do contexto em que se aplica.

Na tentativa de conceituar gene em uma perspectiva mais sistêmica, integrando o papel de diferentes elementos celulares e ambientais na expressão gênica, Griffiths & Neumann-Held (1999) formularam o conceito de gene molecular processual, enfatizando o processo molecular subjacente à capacidade de expressar um produto particular. Também Pardini & Guimarães (1992) buscaram conceituar gene a partir da combinação de uma ou mais sequências de ácidos nucleicos (DNA ou RNA) que corresponderiam a um produto (polipeptídeo ou RNA), mas que só seria definido no contexto de determinado sistema, por exemplo, o contexto celular onde as sequências de DNA se inserem. Essas tentativas de definições mais sistêmicas de gene estão representadas pela Categoria 6.

No que tange as respostas elaboradas para a questão 1, apenas um sujeito se aproximou de uma idéia que corresponderia ao processo molecular subjacente a expressão de um determinado produto particular. A resposta que representou esta categoria foi:

U1/P-1: É a menor porção do genoma que de tem a codificação para uma determinada proteína.

Apesar de essa resposta ter sido colocada na categoria 6 (gene sistêmico) pelo fato de apontar uma porção do genoma como responsável pela codificação de determinado produto - que no caso parece remeter a possibilidade de um conjunto de genes interagir para a determinação de um produto - não deixa claro o que se entende por gene e genoma e também não destaca a interação entre componentes orgânicos e ambientais. A compreensão do gene de uma perspectiva mais sistêmica, que poderia contribuir para combater o determinismo e reducionismo que estão em muitas circunstâncias presentes no discurso biológico, esteve ausente no discurso dos professores.

Outras tentativas de definição de gene, que se contrapõem ao discurso determinista e reducionista comumente encontrado nas explicações biológicas, tais como o Gene-P (Categoria 4) e Gene D (Categoria 5), não foram encontradas nas respostas apresentadas pelos professores investigados nessa primeira questão.

Percebe-se que as ideias que tangenciaram o gene como unidade de estrutura, função e/ou informação (categorias 2, 3 e 8) foram apontadas por 23 dos 28 sujeitos investigados. Isso identifica que mesmo com os desafios colocados pelas novas pesquisas na área de genética em reconhecer o gene como unidade, esta é ainda a tentativa realizada com maior frequência pelos professores

universitários que responderam ao questionário. Os dados indicam também que ao conceituar gene, na maioria das vezes, não se leva em consideração a complexidade dos processos interativos que ocorrem entre gene, organismo e ambiente, ou seja, o gene não é comumente conceituado a partir de uma abordagem sistêmica e contextual.

Os dados obtidos a partir da questão dissertativa “O que é gene?” foram complementados por uma questão de múltipla escolha, no qual o professor deveria selecionar a definição de gene que mais se aproximava de seu conceito e justificar a sua escolha (*Quadro 1*). As alternativas selecionadas pelos professores estão identificadas no *Quadro 4*.

Quadro 4: Categorias referentes ao conceito de gene: C1– Gene Mendeliano; C2 – Gene Molecular clássico; C3 – Estrutural + informacional; C4 – Gene P; C5 – Gene D; C6 – Gene Sistêmico; C7 – Gene Evolutivo; C8 – Gene Estrutural; C9 - Termo versátil.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Professores U1	P-16	P-04 P-08 P-14 P-15	P-02 P-03 P-07 P-09 P-14	-	P-01	P-06	P-05	-	P-10 P-11 P-12 P-13 P-17
Professores U2	P-02 P-05 P-07	P-03 P-04	P-01 P-06	-	P-10	-	-	-	P-08 P-09 P-11

Analisando o *Quadro 4* constata-se que a alternativa K que representa o gene como um termo versátil (Categoria 9), foi a mais assinalada, sendo que na questão 1 apenas um professor havia apresentado essa concepção. Como justificativa para a mudança de concepção, apontamos como exemplo:

U2/P-11: Há muito ainda para se conhecer; extensas sequências de bases anteriormente denominadas de lixo mostram ter funções antes desconhecidas. Uma característica pode ser determinada por mais de um gene. Alguns aparentemente não codificam outros são responsáveis por iniciar ou parar um processo. Desse modo o termo pode ter mais significados do que aqueles que aprendemos na faculdade.

Percebe-se que o contato dos professores com uma diversidade de conceitos de gene possibilitou, mesmo que momentaneamente durante o desenvolvimento do questionário, a percepção de que conceituar gene não é um empreendimento simples. A fala do professor U2/P-11 evidencia isso quando destaca alguns aspectos recentes da pesquisa atual que desafia o conceito de gene. Outro aspecto a ser ressaltado é que o fato de um mesmo professor assinalar um conceito de gene diferente na questão 2 quando comparado a questão dissertativa pode indicar a existência de um perfil de conceitos nos sujeitos investigados, que acaba emergindo quando ele é desafiado pelas diferentes alternativas da questão 2.

A categoria 2, referente ao gene molecular clássico, foi a que apresentou o maior número de concordância em relação às respostas para as questões 1 e 2. Dos seis professores (U1/P-04; U1/P-08; U1/P-14; U1/P-15; U2/P-03; U2/P-04) que assinalaram esta alternativa, três deles (U1/P-04; U1/P-08; U1/P-15) haviam apresentado esta concepção na questão 1. Outros dois (U2/P-03; U2/P-

04) haviam apresentado a visão de gene estrutural (Categoria 8) e um professor (U1/P-14) havia apresentado a categoria 3 (Informacional + Estrutural) na questão 1, estas categorias também estão ligadas ao conceito molecular clássico, ou seja, pode-se inferir que esses dois sujeitos somaram a sua resposta o gene como unidade funcional, compondo o conceito molecular clássico. A seguir, apresenta-se a resposta do professor U1/P-08, que manteve nas duas questões o conceito molecular clássico, mostrando que este é o conceito que tem sido mais enfatizado na biologia molecular.

U1/P-08: Esta definição é a que mais se enquadra no meu conhecimento de bioquímica e biologia molecular.

A categoria 3 (informacional + estrutural) foi assinalada por sete professores (U1/P-02; U1/P-03; U1/P-07; U1/P-09; U1/P-014; U2/P-01; U2/P-06), dos quais, cinco (U1/P-02; U1/P-03; U1/P-07; U2/P-01; U2/P-06) haviam apresentado a visão de gene molecular clássico na primeira questão e um (U1/P-09) a visão informacional e o professor (U1/P-014) apresentou concordância nas duas questões. Algumas das justificativas dos professores que escolheram esta alternativa e que na questão 1 apresentaram suas respostas descritivas relacionadas ao conceito molecular clássico foram:

U1/P-07: É a única alternativa que expressa os dois princípios básicos do gene: hereditariedade e codificação de substâncias. A alternativa *a* fala de hereditariedade, mas não fala da codificação e as outras com exceção da alternativa *k* só mencionam a codificação [...].

U2/P-06: Gene está ligado à hereditariedade + informação + síntese protéica = fundamento celular.

Compreende-se que a sobreposição de ideias, e mesmo a escolha de diferentes alternativas na questão 2, pode ser justificada pelo fato de que conceito molecular clássico de gene pode ser entendido como um conjunto dos conceitos estrutural + funcional + informacional, o que fica claro na justificativa dos professores em sua escolha. Desse modo, somando-se as categorias 2, 3 e 8, que representam o gene como unidade de estrutura, função e/ou informação e que tangenciam aspectos do conceito molecular clássico de gene, tem-se o total de 13 professores que indicaram essas respostas. Quando se compara as respostas da questão 1 e questão 2, percebe-se que ocorreu uma diminuição de 23 para 13 sujeitos que tiveram respostas configuradas nesse grupo de categorias. Isso pode ser em parte explicado pelo fato de o contato com uma diversidade de conceitos na questão 2 levar à reflexão sobre a possibilidade de conceituar gene de diferentes formas.

O conceito de gene mendeliano presente na alternativa 1 foi escolhido por quatro professores (U1/P-16; U2/P-02; U2/P-05; U2/P-07), dentre os quais um já havia apresentado esta visão na questão 1 (U2/P-07), um tinha a percepção de gene estrutural (U1/P-16), um de gene informacional (U2/P-02) e o outro de gene molecular clássico (U2/P-05).

Um conceito selecionado na questão 2 pelos professores e que não apareceu nas respostas à questão 1, foi: Gene D, escolhido por dois professores (U1/P-01; U2/P-10), um que havia apresentado na questão 1 a visão de gene sistêmico (U1/P-01) e o outro (U2/P-10) de gene estrutural. Observa-se, por exemplo, na resposta do professor U1/P-01 uma percepção relativa à interação gene e ambiente, que não havia aparecido anteriormente.

U1/P-01: Genes e ambiente conversam o tempo todo, a modulação é fundamental, assim sendo não é possível se conceituar gene sem considerar a regulação da expressão do mesmo.

O gene evolutivo foi selecionado por um professor (U1/P-05), o qual na questão 1 apresentou a visão de gene estrutural. As categorias 4 (gene P) e 8 (gene estrutural) não foram selecionadas nesta questão.

Quadro 5: Comparação entre as respostas dos professores a questão 1 e 2 e as categorias correspondentes.

		Professores U1																	Professores U2										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Questão 1	C1																							X					
	C2		X	X	X		X	X	X			X			X	X	X	X	X			X	X		X			X	
	C3									X					X						X								
	C4																												
	C5																												
	C6	X																											
	C7											X															X		
	C8					X					X											X	X					X	
	C9												X																
Questão 2	C1															X				X			X	X					
	C2				X			X						X	X						X	X							
	C3		X	X				X	X					X						X									
	C4																												
	C5	X																									X		
	C6						X																						
	C7					X																							
	C8																												
	C9										X	X	X	X					X							X	X	X	

Verifica-se um confronto quando se compara as respostas obtidas nas duas questões, como pode ser verificado no *Quadro 5*. Ao comparar as questões 1 e 2, evidencia-se que nas respostas emitidas na primeira questão o conceito molecular de gene (Categoria 2) é predominante, enquanto nas respostas à segunda questão, o contato com uma diversidade de alternativas sobre o conceito de gene permitiu, mesmo que momentaneamente, o reconhecimento da possibilidade de diferentes formas de conceituar gene por parte dos professores investigados. Os professores têm ciência, pelo menos, de algumas das noções de gene, mas como o paradigma vigente/dominante no contexto de Cursos de Ciências Biológicas é o “molecular” acabam emitindo essa resposta quando questionados na questão 1. Já na questão 2, configura-se uma possibilidade de ruptura com essa visão única, possibilitando ao professor ampliar o seu pensamento em relação a outras perspectivas conceituais, que não são completamente desconhecidas para eles. De acordo com Giordan & Vecchi (1996, p.159):

[...] cada conceito corre o risco de ser colocado numa espécie de gaveta que o isola dos outros; sem referência à diversidade das situações concretas, torna-se então de difícil reinvestimento. Ademais, a acumulação precipitada de formulações conceptuais faz a ciência aparecer como um conjunto fluído, que não se apoia em nenhum raciocínio rigoroso, enquanto a construção progressiva de conceitos, a delimitação de sua área e de sua articulação em rede, são uma escola de rigor que permite dominar o vai-e-vem entre a teoria e a experiência.

Destaca-se também que em sua maioria as respostas, tanto a questão 1 quanto a questão 2, buscaram conceituar gene como uma unidade de estrutura, função e/ou informação, não destacando

a presença de elementos que desafiam o aspecto de unidade do gene. Além disso, compreensões mais sistêmicas do gene, que permitem compreender a complexidade dos processos interativos que ocorrem no organismo foram pouco frequentes, indicando a necessidade da inserção da discussão epistemológica sobre o conceito de gene nos cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas investigados.

Considerações Finais

A Genética é um ramo das Ciências Biológicas que vêm se desenvolvendo continuamente graças aos subsídios oferecidos pelos avanços moleculares. No entanto, tais avanços acabam por gerar conflitos semânticos no que concerne a definições de conceitos específicos da área. Exemplo desse “conflito conceitual” é a problemática do conceito de gene, a qual motivou o desenvolvimento desse trabalho, cujo problema não se associa ao caráter polissêmico do conceito, mas na falta de correspondência clara entre os vários significados do conceito de “gene” e seus respectivos contextos de aplicação (Joaquim et al, 2007). Nesse sentido, pode-se ressaltar a importância da abordagem histórica e epistemológica como ferramenta para o entendimento de uma visão sistêmica do conceito de gene, bem como para mediar a relação semântica que se estabelece entre este conceito e o contexto no qual está sendo mencionado.

Como gene é um conceito que direta ou indiretamente aparece em discussões das mais diversas áreas do conhecimento biológico, buscou-se neste trabalho explicitar a presença dos diferentes conceitos de gene na história da biologia e analisar as concepções de professores universitários (e formadores de professores) sobre esse conceito, na perspectiva de que os dados encontrados fornecessem coerência e subsídios para a discussão da importância de uma abordagem sistêmica do conceito de gene. De acordo com a literatura a respeito do conceito de gene, observa-se que o mesmo se modifica, adequando-se a contextos e períodos históricos específicos.

Os dados foram coletados entre 28 professores de diferentes disciplinas de dois cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas. A análise das respostas dos professores para as duas perguntas sobre o que caracteriza o conceito de gene mostrou que este conceito, assim como nas discussões atuais em genética e epistemologia da biologia, é um obstáculo para professores universitários. Como foi possível perceber na questão 1 a categoria mais frequente foi a correspondente ao conceito molecular clássico de gene. A predominância do conceito molecular clássico nos dados corrobora os resultados de outros estudos, tais como os de Joaquim et al (2007) e Stotz et al (2004). Entretanto, na questão 2, percebe-se que o estabelecimento de contato, com outras alternativas para conceituar gene, mesmo em um questionário, já possibilitou a percepção por parte dos professores que este conceito está em discussão. Ainda é possível indicar que a tentativa de estabelecer o gene como unidade estrutural, funcional e/ou informacional esteve presente na maioria das respostas formuladas (sendo que na primeira questão 23 sujeitos apresentaram respostas que indicam essa tentativa e na segunda questão 13 sujeitos).

A análise das respostas das duas questões demonstra a dificuldade desta discussão e a importância desse tema para o Ensino de Biologia no nível superior, na formação de professores de Biologia. Raramente as respostas fornecidas ao questionário permitiam interpretações de uma visão mais sistêmica dos processos biológicos, entendendo que as interações moleculares apresentam um grau de complexidade que desafia tanto o conceito molecular clássico, quanto uma definição estática, não susceptível a ressignificações contextuais para o conceito em questão. Embora existam dificuldades, em trabalhar com um conceito polissêmico, é de grande valia que os processos biológicos sejam trabalhados de forma integrada nos diferentes níveis de ensino, para que contribuam para uma apropriação mais crítica de tal discurso e das relações entre ciência, tecnologia e sociedade que se configuram em seu interior, proporcionando uma mudança gradual na visão determinista do DNA.

Referências

- Ayuso, E., Banet, E. & Abellán, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II. ¿resolución de problemas o realización de ejercicios? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Acesso em 28 set., 2011, <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v14n2p127.pdf>
- Banet, E., & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. investigación y experiencias didácticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Acesso em 13 maio., 2011, <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v13n2p137.pdf>.
- Batisteti, C. B.; Araújo, E. S. N. N., & Caluzi, J. J. (2009). Algumas interpretações historiográficas sobre a natureza química do princípio transformante no ensino. In: A. M. A. CALDEIRA (org.), *Ensino de ciências e matemática, II: temas sobre a formação de conceitos* (pp. 53-73). São Paulo: Cultura Acadêmica.
- Brett, D.; Pospisil, H.; Valcárel, J., & Bork, P. (2002). Alternative splicing and genome complexity. *Nature genetics*. Acesso em 14 jun., 2010, <http://www.nature.com/ng/journal/v30/n1/pdf/ng803.pdf>.
- Dawkins, R. (2001). *O gene egoísta*. Tradução. Geraldo H. M. Florsheim. Belo Horizonte: Itatiaia.
- El-Hani, C. N. (2007). Between the cross and the sword: the crisis of the gene concept. *Genetics and Molecular Biology*. Acesso em 14 jun., 2010, <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v30n2/a01v30n2.pdf>.
- Falk, R. (2000). The gene – A concept in tension. In: BEURTON, P; FALK, R.; RHEINBERGER, H-J. (Eds.). *The concept of the gene in development and evolution*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 317-348.
- Fardilha, M.; Silva, O. C., & Silva, E. C. (2008). A importância do mecanismo de splicing alternativo para a identificação de novos alvos terapêuticos. *Acta Urológica* Acesso em 14 jun., 2010, <http://www.apurologia.pt/acta/1-2008/splicing.pdf>.
- Giordan, A., & Vecchi, G. de (1996). *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*. 2 Ed. Porto Alegre: Artes médicas.
- Goldbach, T., & El-Hani, C. N. (2008). Entre receitas, programas e códigos: metáforas e ideias sobre genes na divulgação científica e no contexto escolar. *Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*. Acesso em 14 jun., 2010, http://www.ppgect.ufsc.br/alexandriarevista/numero_1/artigos/CHARBEL.pdf.
- Griffith, F. (1966). The significance of pneumococcal types. *The Journal of Hygiene*, 64(2), 129-175.
- Griffiths, P., & Neumann-Held, E. (1999). The many faces of the gene. *Bioscience*, 49, 656-662.
- Joaquim, L. M.; Santos, V. C.; Almeida, A. M. R.; Magalhães, J. C., & El Hani, C. N. (2007). Concepções de estudantes de graduação de biologia da UFPR e UFBA sobre genes e sua mudança pelo ensino de genética. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - SC, Florianópolis: 2007. *Anais...* Florianópolis: ABRAPEC, 2007.
- Johannsen, W. L. (1911). The genotype conception of heredity. *The American Naturalist*, 45(531), 129-159.
- Keller, E. F. (2000). *The century of the gene*. Cambridge-MA: Harvard University Press.

- Leite, M. (2003). *Hegemonia e crise da noção de “gene” nos 50 anos de DNA*. In 49º Congresso Nacional de Genética – SP, Águas de Lindóia: 2003.
- Lima, A. C.; Pinton, M. R. G. M., & Chaves, A. C. L. (2007). *O entendimento e a imagem de três conceitos: DNA, gene e cromossomo no ensino médio*. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - SC, Florianópolis: 2007. *Anais...* Florianópolis: ABRAPEC, 2007.
- Martins, L. A. P. (1998). Thomas Hunt Morgan e a teoria cromossômica da herança: de crítico a defensor. *Episteme* Acesso em 14 de jun., 2010, http://www.ilea.ufrgs.br/episteme/portal/pdf/numero06/episteme06_artigo_martins1.pdf.
- Mayr, E. (1998). *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Brasília: Editora da UNB.
- Moss, L. (2006). The question of question: what is a gene? Comments on Rolston and Griffiths & Stotz. *Theoretical Medicine and Bioethics*. Acesso em 14 de jun., 2010. <http://www.springerlink.com/content/11880602346x23n3/fulltext.pdf>.
- Nascimento, M. L. (2003). *O desencantamento do dom científico: a prevalência da “metáfora do programa genético” no Projeto Genoma Humano e o contexto histórico-social da industrialização das biociências*. Dissertação de mestrado. UERJ/Rio de Janeiro.
- Oliveira, T. H. G.; Santos, N. F., & Beltramini, L. M. (2004). O DNA: Uma sinopse histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*. Acesso em 14 de jun., 2010. http://agata.ucg.br/formularios/site_docente/bio/marcio/pdf/01%20-%20O%20DNA%20-%20Uma%20Sinopse%20Hist%C3%B3rica.pdf.
- Paiva, A. L. B., & Martins, C. M. de C. (2004). Concepções prévias de alunos de terceiro ano do ensino médio a respeito de temas na área de Genética. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Acesso em 14 de jun., 2010. <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/viewFile/99/148>.
- Pardini, M. I. M. C., & Guimarães, R. C. (1992). A systemic concept of the gene. *Brazilian Journal of Genetics*. 15(3), 713-721.
- Reznik, T. (1995). *O desenvolvimento do conceito de gene e a sua apropriação nos livros didáticos de biologia*. Dissertação de mestrado. UFF/Niterói.
- Santos, V. C., & El-Hani, C. N. (2009). Ideias sobre genes em livros didáticos de biologia do ensino médio publicados no Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Acesso em 14 jun., 2010, <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V9N1/v9n1a6.pdf>.
- Scheid, N. M. J., & Ferrari, N. (2006). A história da ciência como aliada no ensino de genética. *Genética na escola*. Acesso em 14 de jun., 2010, <http://www.geneticanaescola.com.br/ano1vol1/07.pdf>.
- Scheid, N. M. J.; Ferrari, N., & Delizoicov, D. (2005). A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação* Acesso em 13 maio., 2011, <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n2/05.pdf>.
- Sentis, P. (1970). La naissance de la génétique au début du XX siècle. *Cahiers D'Études Biologiques*, 18: 73-85.
- Snustad, D. P., & Simmons, M. J. (2001). *Fundamentos de genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Solha, G. C. F., & Silva, E. P. (2004). Onde está o lugar do conceito de gene. *Episteme*. Acesso em 14 jun., 2010, http://www.ilea.ufrgs.br/episteme/portal/pdf/numero19/episteme19_artigo_solha_silva.pdf.

Stotz, K.; Griffiths, P.E., & Knight, R. (2004). How biologists conceptualize genes: an empirical study. *Studies in the History and Philosophy of Biological & Biomedical Sciences*, 35, 647-673.

Suzuki, D. T.; Griffiths, A. J. F.; Miller, J. H., & Lewontin R.C. (1992). *Introdução à genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Vilas-Boas, A. (2006). Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. *Genética na escola*. Acesso em 14 jun., 2010, <http://www.geneticanaescola.com.br/ano1vol1/04.pdf>.

Waizbort, R., & Solha, G. C. (2007). Os genes interrompidos: o impacto dos introns sobre a definição de gene molecular clássico. *Revista da SBHC*, 5(1), 63-84.

Watson, J. D., & Berry A. (2005). *DNA: o segredo da vida*. Tradução Carlos Afonso Malferrari. São Paulo: Companhia das Letras.

Recebido em: 08.07.10

Aceito em: 18.10.11