

CONTROVÉRSIAS SOBRE O CONCEITO DE ADAPTAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO

CONTROVERSIES ABOUT THE ADAPTATION CONCEPT AND ITS IMPACT ON THE TEACHING OF EVOLUTION

Claudia Sepúlveda¹
Charbel Niño El-Hani²

¹Universidade Estadual de Feira de Santana/ Departamento de Educação, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS), causepulveda@ig.com.br

²Universidade Federal da Bahia/Instituto de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento (UFBA), charbel@ufba.br, charbel.elhani@pesquisador.cnpq.br

Resumo. O conceito de adaptação biológica, considerado um dos elementos centrais na explicação darwinista das mudanças evolutivas, tem enfrentado alguns desafios expostos ou gerados pela controvérsia acerca de sua definição e papel epistemológico na biologia, instaurada no seio da crítica ao programa de pesquisa adaptacionista, iniciada ao final da década de 1960. Analisaremos brevemente três destes desafios: (1) a proliferação de significados e variação conceitual relativa ao termo ‘adaptação’; (2) as dificuldades para testar e apoiar empiricamente hipóteses adaptacionistas acerca do significado adaptativo de traços fenotípicos e de sua origem por seleção natural; e (3) as dificuldades que o conceito de adaptação formulado na perspectiva da teoria sintética da evolução apresenta para acomodar-se a avanços conceituais e empíricos da biologia evolutiva. Serão discutidos alguns caminhos que têm sido tomados para enfrentar tais desafios e suas implicações para o ensino de evolução.

Palavras-chave: Adaptação, Seleção natural, Ensino de evolução, Adaptacionismo.

Abstract. The concept of biological adaptation, regarded as one of the central elements in the Darwinian explanation for evolutionary changes, has faced some challenges exposed or generated by the controversy about its definition and epistemological role in biology. This controversy appeared in the context of criticism of the adaptationist research program, which begun in the end of the 1960s. We will briefly analyze three of these challenges: (1) the proliferation of meanings and conceptual variation regarding the term ‘adaptation’; (2) the difficulties to test and empirically support adaptationist hypotheses about the adaptative significance of phenotypic traits and its origins by natural selection; and (3) the difficulties faced by the concept of adaptation built from the perspective of the synthetic theory of evolution to accommodate conceptual and empirical advances of evolutionary biology. We will discuss some avenues taken to face these challenges and their implications to evolution teaching.

Keywords: Adaptation, Natural selection, Evolution teaching, Adaptationism.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de adaptação biológica tem sido considerado uma das idéias centrais do modelo explicativo darwinista para as mudanças evolutivas das formas vivas (Bock, 1979; Clough ;Wood-Robinson, 1985). Contudo, dados apresentados pela literatura sobre concepções alternativas apontam que estudantes de diferentes idades tendem a interpretar a noção de adaptação a partir de diferentes perspectivas alternativas àquelas aceitas pela comunidade científica. Com frequência, a origem das adaptações é relacionada a um propósito pré-determinado (Clough e Wood-Robinson, 1985), de acordo com uma perspectiva teleológica que não é aceita nos modelos científicos (relacionada ao que Bloom e Weisberg denominam

‘teleologia promíscua’); ou à ação consciente e deliberada dos organismos visando transformarem-se para suplantarem problemas impostos pelo meio (Clough e Wood-Robinson, 1985), numa perspectiva antropomórfica; ou, numa perspectiva neolamarckista, a mudanças ocorridas ao longo da vida de um organismo individual que seriam transmitidas geneticamente para as próximas gerações (Brumby, 1983; Bizzo, 1994; Bishop e Anderson, 1990).

Um dos fatores levantados para explicar a persistência destas concepções alternativas consiste na confusão semântica gerada pela abundância de significados diferentes associados ao termo “adaptação” (Lucas, 1971; Alters e Nelson, 2002; Sepúlveda e El-Hani, 2007), tanto na cultura geral, como no domínio das ciências biológicas. Por exemplo, na biologia, tem sido empregada a palavra “adaptação” tanto para referir-se a mudanças fisiológicas ocorridas ao longo da vida de um organismo, como para designar mudanças evolutivas que ocorrem ao nível de populações, ao longo da filogênese. Este uso indiscriminado do mesmo termo para designar dois fenômenos biológicos distintos reforça um erro categórico comum entre os estudantes, o de atribuir propriedades de um processo, adaptação ontogenética, a outro, adaptação evolutiva. Mudanças adaptativas, em que a distribuição de características numa população de entidades muda ao longo do tempo, num processo evolutivo variacional, são interpretadas como processos de ajuste dos organismos ao ambiente em que vivem, ao longo de sua vida, num processo transformacional, isto é, no qual uma entidade apenas passa por uma série de estágios de transformação.

A proliferação de significados e a variação conceitual são parte de uma série de desafios expostos pela controvérsia acerca do conceito de adaptação e de seu papel epistemológico na biologia, instaurada no seio da crítica ao programa de pesquisa *adaptacionista*, iniciada ao final da década de 1960. O termo ‘adaptacionismo’ se refere a uma abordagem teórico-metodológica na biologia evolutiva que busca na seleção natural a explicação para a origem e existência das características funcionais encontradas nos seres vivos, desconsiderando ou diminuindo a importância de outras explicações alternativas para a origem e evolução das formas orgânicas. Após o movimento de fusão do mendelismo e do darwinismo, realizado a partir da década de 1920, conhecido como síntese evolutiva, a seleção natural foi considerada universalmente como a influência causal primária na mudança evolutiva fenotípica e, além disso, como explicação única para as adaptações. A crença no poder causal, explicativo e preditivo da seleção natural neste período era tal que os biólogos evolutivos concebiam a produção direta de adaptações através deste mecanismo como a causa primária de praticamente toda forma, função e comportamento no mundo orgânico (Gould; Lewontin, 1978, p.76). Desse modo, dirigiam seu trabalho principalmente para a proposição de histórias adaptativas para cada uma das características dos organismos, inferidas a partir do seu valor funcional.

Este programa de pesquisa foi duramente criticado a partir dos anos 1960, em consequência de evidências empíricas e avanços teóricos que expunham os limites da seleção natural para a explicação da organização estrutural das formas vivas. Mais especificamente, as descobertas acerca do papel do acaso nas mudanças evolutivas (deriva genética) e a ênfase no papel das restrições históricas (filogenéticas), estruturais e do desenvolvimento na evolução da forma orgânica¹, entre outros fatores, mostraram que, não obstante a grande importância do mecanismo da seleção natural na explicação dos processos evolutivos, é preciso combiná-la com outros mecanismos para a construção de modelos explicativos mais consistentes destes processos.

Nas críticas ao programa adaptacionista, questionava-se não só o poder causal e explicativo atribuído à seleção natural, como também a prioridade dada à adaptação em relação a outros fenômenos biológicos também relacionados à origem e evolução das formas vivas. Desse modo, os debates entre anti-adaptacionistas e adaptacionistas terminaram por gerar também uma controvérsia acerca do papel epistemológico do conceito de adaptação. Os críticos ao adaptacionismo propõem que o conceito de adaptação, **como postulado pelo programa**

adaptacionista, não tem nenhuma relevância prática para o trabalho dos biólogos (Godfrey-Smith, 1999), ou, ainda, constitui um mau “conceito organizador” das pesquisas biológicas, ao tornar as teorias darwinistas da evolução não-testáveis e os biólogos, cegos aos demais fatores evolutivos (Lewontin, 1983; Levins; Lewontin, 1985, p. 66). Alguns autores buscam reafirmar, contudo, o papel heurístico desempenhado por questões adaptacionistas, bem como os avanços empíricos e conceituais que elas proporcionaram na história das ciências biológicas (Mayr, 1988; Futuyma, 1993, p.172; Andrews, et.al, 2002; Meyer; El-Hani, 2005, p. 75-76). Desta perspectiva, propõe-se que sejam enfrentadas as dificuldades apresentadas pelo conceito de adaptação, de modo a restaurá-lo como conceito útil na organização da pesquisa biológica, sem ignorar a existência e o poder de outros mecanismos causais não-seletivos (Mayr, 1988; Rose; Lauder, 1996; Sterelny, 1997).

Diante dos argumentos apresentados pelos autores que assumem diferentes posicionamentos neste debate acerca do estatuto e papel epistemológico do conceito de adaptação, identificamos três desafios enfrentados por este conceito que pretendemos analisar neste artigo: (1) a proliferação de significados e a variação conceitual relativa ao termo ‘adaptação’; (2) as dificuldades para testar e apoiar empiricamente hipóteses adaptacionistas acerca dos significados adaptativos de traços fenotípicos e de sua origem por seleção natural; e (3) as dificuldades que o conceito de adaptação formulado na perspectiva da teoria sintética da evolução apresenta para acomodar-se a avanços conceituais e empíricos da biologia evolutiva. Serão também apresentados alguns caminhos que têm sido tomados para enfrentar tais desafios, de modo a salvar o conceito de adaptação, restaurando-o como um conceito útil na organização da pesquisa em biologia evolutiva. Por fim, discutiremos implicações para o ensino de evolução que decorrem tanto das dificuldades enfrentadas pelo conceito de adaptação, quanto das reformulações que este conceito vem sofrendo para superar aquelas dificuldades.

2. DESAFIOS ENFRENTADOS PELO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO

2.1. Proliferação de significados e variação conceitual

Como comentamos anteriormente, um dos principais desafios enfrentados pelo conceito de adaptação diz respeito à proliferação de significados atribuídos a este termo e às ambigüidades geradas por tal polissemia. Analisando a história das palavras numa determinada língua, Vygotsky (2001, p.212) argumenta que “um nome nunca é um conceito no início do seu surgimento”. O autor chama atenção de que na história das palavras, é comum observarmos que uma série de referentes, os mais diversos, são designados pela mesma palavra, não por uma necessidade lógica, mas pela combinação segundo um atributo metafórico. Desse modo, o uso da palavra estaria baseado em complexos metafóricos concretos, em lugar de vínculos que se estabelecem no conceito (Vygotsky, 2001, p. 213). Assim, no desenvolvimento da linguagem, observa-se, para este autor, “uma luta entre o conceito e a imagem que serve de base à palavra” (Vygotsky, 2001, p.214)

Esta noção pode ter um papel heurístico na interpretação das raízes históricas da polissemia do termo “adaptação” nas ciências biológicas. O emprego da palavra ‘adaptação’ no estudo dos organismos vivos precede o pensamento evolutivo. Esta palavra era usada pela teologia natural do séc. XVII para referir-se à ação inteligente de Deus ao projetar organismos para papéis definidos na economia da natureza. Nesse âmbito semântico, seu significado é consistente com aquele que encontramos em sua etimologia, a partir dos termos latinos *ad* + *aptus*, ou seja, em direção a um ajuste. A força da imagem metafórica do termo ‘adaptação’, como um ajuste de um objeto a uma tarefa particular de modo a torná-lo apto a satisfazer uma exigência preexistente (Gould e Vrba, 1982; Lewontin, 2002), fez com que fosse empregado indiscriminadamente para designar uma variedade de fenômenos biológicos, que têm em comum apenas o traço de representar o ajuste dos organismos ao ambiente, mas que diferem no que diz

respeito aos níveis hierárquicos em que ocorrem e em sua etiologia. Como analisam Gould e Lewontin (1978), o uso do termo ‘adaptação’ na biologia tem obscurecido, assim, as diferenças entre três processos: (1) a plasticidade fenotípica, que permite aos organismos moldarem sua forma, sua fisiologia e/ou seu comportamento às circunstâncias prevalentes ao longo da ontogenia (adaptação fisiológica ou ontogenética); (2) a adaptação cultural, a herança cultural possibilitada pela aprendizagem em humanos (e, de modo distinto, em algumas outras espécies); e (3) o mecanismo darwinista de seleção de variedades genéticas, que contribui para a adaptação evolutiva. Para estes autores, a ambigüidade no uso do termo ‘adaptação’ pode conduzir ao equívoco de se estender a um fenômeno as explicações etiológicas de outro. Um exemplo deste tipo de equívoco na pesquisa em biologia, citado por Gould e Lewontin (1978), consiste no raciocínio adaptacionista de inferir a ação da seleção natural a partir da existência de um ajuste ótimo entre organismo e ambiente, questão que analisaremos mais detidamente na próxima seção.

Embora no âmbito da biologia evolutiva, o uso do termo adaptação seja restringido às adaptações evolutivas, observa-se também neste campo a proliferação de significados para o termo. Encontramos hoje o uso da palavra ‘adaptação’ por biólogos evolutivos em dois sentidos diferentes, ora referindo-se a características que foram construídas pela ação direta da seleção natural (Williams 1966; Lewontin, 1978), ora referindo-se a qualquer característica que aumente a aptidão biológica, independentemente de qual tenha sido sua origem histórica (Bock, 1979;1980). Segundo Gould e Vrba (1982), os biólogos, em consequência da visão adaptacionista e da ambigüidade do termo ‘adaptação’, ora vista como produto, ora como processo, não têm reconhecido a confusão potencial entre estes dois sentidos, apoiados em dois critérios distintos: a gênese histórica (construção por seleção natural) e a utilidade corrente (aumento de aptidão, não importando a origem). Eles destacam que este dilema foi sendo reconhecido por Williams (1966, p.6), que optou por restringir o uso do termo ao primeiro sentido, argumentando que só se deveria falar de adaptação quando fosse possível “atribuir a origem e a perfeição desse design a um longo período de seleção para efetividade nesse papel particular”. Williams alertou para a importância de distinguirmos adaptações, e suas funções, de efeitos fortuitos: as primeiras constituiriam a operação de um caráter resultante de um processo seletivo, e os segundos, a consequência acidental da utilidade ou do potencial de um caráter que não foi construído por seleção natural para o seu papel corrente.

A opção pelo critério do uso corrente, utilizando os termos de Gould e Vrba (1982), foi defendida, por exemplo, por Bock: “uma adaptação é, assim, uma característica do organismo que interage operacionalmente com algum fator do seu ambiente de tal modo que o indivíduo sobrevive e se reproduz” (Bock, 1979, p. 39). O uso deste sentido mais amplo para adaptação tem sido aclamado por alguns biólogos, sob o argumento de que ele seria mais facilmente operacionalizável, uma vez que tornaria possível a descoberta e definição da função de um traço sem que se precisasse enfrentar as dificuldades da reconstrução do caminho histórico de sua origem, o que, além de ser sempre mais difícil, pode trazer uma série de incertezas (Gould; Vrba, 1982; Sterelny; Griffiths, 1999, p. 223). A este respeito, Gould e Vrba argumentam que o problema da gênese histórica não pode ser ignorado, uma vez que, a biologia evolutiva deve conceber as vias históricas como o aspecto fundamental de suas análises.

Ainda que não seja possível ou desejável instituir a univocidade dos termos científicos, como argumentado em críticas ao projeto positivista de perseguir tal objetivo (Keller; Lloyd, 1999), o que queremos argumentar é que a polissemia pode, em alguns casos, tornar-se um problema, ao gerar ambigüidades que, por sua vez geram concepções equivocadas e dificuldades nas atividades de pesquisa, caso não tenhamos clareza acerca dos sentidos múltiplos e concorrentes com que certos termos estão sendo empregados, bem como das raízes históricas de tais sentidos. Além do mais, a confusão semântica tem sido considerada um dos fatores

responsáveis pela abundância e permanência de concepções alternativas na aprendizagem de conceitos referentes à biologia evolutiva (Alters e Nelson, 2002; Sepúlveda e El-Hani, 2007).

2.2. Dificuldades no teste de hipóteses adaptacionistas

A principal crítica ao programa adaptacionista feita por Gould e Lewontin (1978) diz respeito à sua prática metodológica de propor histórias adaptativas para explicar a existência de características funcionais que são consideradas válidas apenas com base no critério de consistência da narrativa com a seleção natural, o que tornaria o programa infalsificável. Diante de qualquer traço útil, os adaptacionistas criam uma hipótese acerca de seu significado adaptativo e explicam sua existência a partir de um modelo de processo seletivo. Há dois pressupostos ontológicos subsidiando esta prática: (1) os organismos podem ser concebidos como coleções de características unitárias, as quais podem ser consideradas independentes umas das outras; (2) as restrições ao poder da seleção natural podem ser consideradas mínimas, de modo que a adaptação por seleção natural é a causa primária de toda forma, função ou comportamento exibido pelos seres vivos.

Em relação a estes pressupostos, Gould e Lewontin (1978) alertam para o fato de que os organismos são entidades integradas, de modo que muitas das características observadas são resultantes de restrições estruturais que afetam as interações entre elementos que formam este todo integrado. No caso destas características, uma interpretação adaptativa não é adequada. Outra consequência da integração das características dos sistemas vivos é que, muito dificilmente, a otimização de qualquer parte que seja de um organismo não demanda mudanças em outras partes. Portanto, não podemos pressupor que os traços evoluem de forma independente uns dos outros, nem tampouco, que as mudanças evolutivas possam ser explicadas exclusivamente pela ação da seleção natural, sem levar em conta a influência de outros processos, como as restrições estruturais, acima mencionadas, ou a deriva genética, ou, ainda, restrições relacionadas aos processos de desenvolvimento e à história filogenética dos grupos.

O artigo de Gould e Lewontin (1978) gerou grandes debates e reações diversas na comunidade de biólogos evolutivos. Autores como Sterelny e Griffiths (1999) e Godfrey-Smith (2001) sugerem que as reações às críticas de Gould e Lewontin (1978) acabaram por deixar claro que não havia uma homogeneidade entre os adaptacionistas. Assim, estes autores identificaram três teses distintas: *o adaptacionismo empírico, o adaptacionismo explanatório e o adaptacionismo metodológico*.

O adaptacionismo empírico sustenta que é possível prever e explicar o resultado do processo evolutivo levando-se em conta apenas o papel exercido pela seleção natural, dado o grau de sua importância causal em relação a outros fatores evolutivos (Godfrey-Smith, 2001). O adaptacionismo explanatório elege a existência das adaptações e, especialmente, das adaptações complexas como o problema central da biologia evolutiva. Essa posição assume que a seleção natural é de fato altamente restringida em sua ação e que a maioria das características dos organismos não constitui adaptações, mas argumenta que a seleção natural é o único mecanismo que produz adaptações complexas, ou a única explicação satisfatória para este problema, devendo ser considerada, portanto, o fator mais importante na história evolutiva (Sterelny, Griffiths, 1999). Diferentemente destas duas visões, o adaptacionismo metodológico não faz nenhuma afirmação acerca do mundo natural e do papel que a seleção natural desempenha no mesmo, consistindo apenas numa recomendação acerca de como os biólogos devem pensar sobre os organismos e organizar suas investigações (Sterelny; Griffiths, 1999; Godfrey-Smith, 2001). Os adaptacionistas metodológicos vêm na adaptação “um bom conceito organizador na teoria evolutiva”, por considerarem que “a melhor forma de se estudar os sistemas biológicos é procurando por um bom design”² (Sterelny; Griffiths, 1999, p. 227).

A identificação das três formas de adaptacionismo propostas por Sterelny e Griffiths (1999) e Godfrey-Smith (2001) é importante para compreendermos os argumentos anti-

adaptacionistas que vêm sendo dirigidos a cada uma delas, assim como os desafios empíricos, teóricos e metodológicos que cada uma precisa enfrentar.

Versões ambiciosas do adaptacionismo explanatório, como aquelas defendidas por Dawkins (1996) e Dennet (1995), têm como maior desafio a questão epistemológica de justificar cientificamente a prioridade da complexidade do *design* como problema central de pesquisa da biologia evolutiva, diante da diversidade dos fenômenos evolutivos. O reclame do adaptacionismo explanatório de que o *design* aparente coloca a pergunta mais relevante a ser respondida pela biologia evolutiva tem sido duramente criticada por Godfrey-Smith (1999; 2001), apoiado nos seguintes argumentos: (1) É possível julgar se uma questão é mais importante que outra em termos lógicos, no que diz respeito à quantidade de informação que será disponibilizada ao respondê-la, ou ainda pelo seu valor prático, mas não há como decidir se uma questão é mais importante do que outro no sentido objetivo requerido pelo adaptacionismo exploratório; (2) Não há como decidir objetivamente qual fenômeno na natureza é mais intrigante que outro, tornando-se por isso central na explicação evolutiva. É possível acharmos alguns fenômenos menos notáveis que a complexidade do olho, como, por exemplo, a existência das unhas, “mas as unhas são tão reais quanto os olhos, e as unhas possuem, de igual modo, uma história evolutiva”. (Godfrey-Smith, 1999, p. 188). Godfrey-Smith (1999; 2001) propõe que, se estes argumentos estiverem corretos, pode-se dizer que o adaptacionismo explanatório é reduzido a uma questão de preferência pessoal³ de alguns biólogos e filósofos; “eles acham a seleção importante porque ela responde a questões que eles consideram interessantes” (Godfrey-Smith, 1999, p.188).

Analisando os argumentos apresentados por Dawkins e Dennet a favor da prioridade do “problema do *design*” e da seleção natural como resposta ao mesmo, Godfrey-Smith (1999; 2001) conclui que o adaptacionismo exploratório, na forma como é defendido por estes autores, não tem suas raízes nas evidências obtidas pela biologia, mas sim num extenso projeto intelectual em defesa de uma visão de mundo secular e do papel que a seleção natural cumpre ao situar a biologia nesta visão de mundo. Deste modo, o adaptacionismo explanatório não seria passível de teste empírico.

O mesmo não ocorre com o adaptacionismo empírico. Ao fazer afirmações factuais sobre o mundo biológico, torna-se mais simples testá-lo empiricamente: é preciso desenvolver um modo de comparar a importância causal da seleção natural com a de outros fatores evolutivos. Orzack e Sober (1994) buscaram desenvolver testes baseados em modelos em que todos os, ou a maioria dos, fatores evolutivos não-seletivos eram removidos, para estimar o grau de adequação de um modelo puramente baseado na seleção natural para explicar uma variedade de fenômenos. Se, em um caso particular, um modelo selecionista crítico (*censored selectionist model*) estivesse tão bem ajustado aos dados que a inclusão de mais fatores evolutivos à análise levasse a poucos ou a nenhum ganho, a abordagem adaptacionista estaria justificada.

O modelo desenvolvido por estes autores, contudo, não esteve isento de críticas teórico-metodológicas. Brandon & Rausher (1996) e Godfrey-Smith (2001) argumentam que o modo como o teste foi estruturado não possibilitou o teste de outros modelos críticos igualmente bons. Não se avalia, por exemplo, se um modelo selecionista de um dado tipo é melhor ou pior do que um modelo não-selecionista similar no que diz respeito à sua complexidade e às questões que se pretende responder. Deste modo, segundo a análise destes autores, o teste de Orzack e Sober (1984) acaba sendo tendencioso, favorecendo o adaptacionismo.

No que diz respeito ao adaptacionismo metodológico, Godfrey-Smith (2001) sugere que, em grande parte, esta posição se encontra sustentada no seguinte argumento indutivo: os inúmeros sucessos históricos levam à conclusão de que devemos encorajar os biólogos do futuro a também organizarem seus trabalhos a partir da abordagem adaptacionista. A este tipo de argumento, tem sido dirigida a ponderação de que o sucesso da abordagem adaptacionista no passado esteve relacionado a condições históricas específicas, a um contexto teórico que não tem

mais lugar na biologia de hoje. Os avanços teóricos e empíricos⁴ que levaram ao contexto atual demandariam uma abordagem diferente (Lewontin, 1983). No entanto, um segundo argumento tem sido apresentado em favor do papel heurístico do adaptacionismo, o de que esta abordagem metodológica constitui uma parte necessária do programa pluralista, tal como advogado por Gould e Lewontin (1978). Andrews e colaboradores (2002) por exemplo, argumentam que o estabelecimento empírico de que certas feições de um traço são melhor explicadas por hipóteses alternativas, como restrições históricas, físicas ou do desenvolvimento, requer que hipóteses adaptacionistas plausíveis sejam consideradas, testadas e rejeitadas sistematicamente.

Tem sido observada uma tendência crescente entre os biólogos evolutivos em argumentar a favor de uma abordagem mais pluralista ao estudo da biologia evolutiva (Pigliucci; Kaplan, 2000, Meyer; El-Hani, 2000, p. 179), na qual são contempladas idéias adaptacionistas lado a lado à compreensão das restrições ao processo evolutivo: além de considerar evidências acerca da ação da seleção natural em moldar caracteres que hoje se apresentam como úteis, atenta-se para explicações alternativas relacionadas ao papel cumprido por restrições as quais este processo poderia estar sujeito, a exemplo da história do caráter ou dos processos de desenvolvimento.

2.3. Dificuldades do conceito de adaptação frente a avanços conceituais e empíricos da biologia evolutiva

As críticas ao adaptacionismo, apresentadas na seção anterior, expõem as dificuldades que o conceito de adaptação formulado na perspectiva da teoria sintética da evolução vem enfrentando para acomodar-se “aos avanços técnicos na genética evolutiva experimental e teórica” (Lewontin, 1997, p.30), que apontam a importância de mecanismos não-seletivos na evolução.

O conceito de adaptação em foco foi concebido no contexto intelectual que sucedeu à síntese evolutiva das décadas de 1930 e 1940, como parte da visão do processo evolutivo desenvolvida nos trabalhos clássicos de Mayr, Dobzhansky, Simpson, Stebbins, entre outros, caracterizada por Sterelny e Griffiths (1999, p.31) como a ‘visão aceita’ (*received view*) da biologia evolutiva. As duas formas de conceituar adaptação, como característica e como processo, encontradas em Futuyma (1993, p. 266), um dos textos didáticos mais adotados em disciplinas de evolução no ensino superior, serve para exemplificar esta perspectiva:

(...) uma adaptação é uma característica que devido ao aumento que confere no valor adaptativo, foi moldada por forças específicas de seleção natural atuando sobre a variação genética. Algumas vezes a palavra se refere ao processo pelo qual uma população é alterada de modo a se tornar mais adequada ao seu ambiente. (...) A análise de adaptações favorece, então, a demonstração de que a característica foi desenvolvida por seleção natural e a especificação da natureza do agente seletivo (ou agentes) que favoreçam o traço.

O modo como o conceito de adaptação é formulado na perspectiva da teoria sintética implica a idéia de que qualquer característica funcional com valor adaptativo é resultante necessariamente da ação direta da seleção natural, bem como que este processo leva a um estado ótimo da estrutura orgânica e de sua relação com o ambiente. Portanto, esta compreensão de adaptação enfrenta necessariamente todas as dificuldades do adaptacionismo empírico discutidas na seção anterior, relativas às restrições do poder causal e explicativo da seleção natural em face da complexidade adaptativa do mundo vivo e da independência lógica entre adaptação (característica moldada por seleção natural) e aumento da aptidão darwinista (*fitness*).

4. ALGUMAS REAÇÕES À CRISE DO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO

Diante de crises desta natureza, nas quais se constata problemas relativos a confusões semânticas e dúvidas em relação ao estatuto e papel epistemológico de um conceito científico,

são comuns reações mais drásticas de abandono e substituição do referido conceito, ou mais ponderadas e otimistas, que buscam ‘salvar’ o conceito, reformulando-o de modo que o mesmo possa assumir um papel mais promissor.

No caso do conceito de adaptação, não tem sido diferente. O primeiro tipo de reação coube a Lewontin (2002), ao propor a substituição do conceito de adaptação pelo de *construção*. Este conceito estaria fundamentado na concepção construcionista da relação entre organismo e ambiente, segundo a qual, em pequena escala, os organismos adaptam o ambiente às suas necessidades, mas, em grande escala, têm de se adaptar ao ambiente que está em constante mudança, em parte pela própria atividade dos organismos.

Um segundo tipo de reação à crise do conceito de adaptação pode ser ilustrada por dois exemplos de esforços para salvá-lo: (1) a criação do conceito de *exaptação* por Gould e Vrba (1982), de modo a restringir o significado do termo ‘adaptação’; e (2) a definição de adaptação proposta por Sober (1993), de modo a restringir o uso deste termo à perspectiva darwinista, segundo a qual a seleção natural é necessária e suficiente para caracterizar uma característica como uma ‘adaptação’, de modo independente de seu valor adaptativo e do incremento da aptidão darwinista ou *fitness*.

Gould e Vrba buscaram resolver o problema da confusão semântica em torno do termo ‘adaptação’ mediante a criação de dois novos termos na “taxonomia da morfologia evolutiva” que propuseram (1982, p. 520): *exaptação* e *aptação*. O termo ‘exaptação’ seria destinado a caracteres previamente moldados pela seleção natural para uma função particular, mas que foram cooptados para um novo uso, ou caracteres cuja origem não pode ser atribuída à ação direta da seleção natural, mas que foram cooptados para um uso corrente. Um exemplo do primeiro caso seriam as penas das aves, que foram inicialmente selecionadas para a função de isolamento térmico em dinossauros ancestrais das aves e posteriormente foram cooptadas para o voo, o que terminou por resultar em como resultado de mudanças em características esqueléticas e padrões neuromotores específicos, selecionadas posteriormente. Um exemplo para o segundo caso seria a cooptação das suturas cranianas não fusionadas dos filhotes para o parto em mamíferos placentários.

Assim, as características exaptativas se encontram ajustadas ao seu uso corrente, mas não foram moldadas **para** o mesmo. Elas adquiriram valor adaptativo às circunstâncias presentes por outras razões e são, portanto, ajustadas, **em consequência de** sua forma. Sob esta perspectiva, as adaptações têm funções, mas as exaptações têm efeito (Gould e Vrba, 1982, p. 523). Ao criarem o termo ‘exaptação’, Gould e Vrba (1982) restringiram o uso do termo ‘adaptação’ aos caracteres moldados pela seleção natural para seu uso corrente e passaram a designar o fenômeno geral de ser apto de ‘aptação’, englobando os subconjuntos das adaptações e das exaptações.

Sober (1993) reconhece a existência de confusões e conflitos no tratamento dado pelos biólogos ao conceito de adaptação, de modo semelhante a Gould e Vrba (1982), mas interpreta a situação de modo diverso, concebendo-a como uma questão de desacordos em torno de quais seriam as condições necessárias e suficientes para se considerar uma determinada característica uma adaptação. O ponto crucial reside na relação entre adaptação e incremento na adaptatividade⁵ ou aptidão biológica (*fitness*). Esta última condição é equivalente ao que Gould e Vrba (1982) identificaram como “critério de uso corrente”. Os desacordos giram em torno das seguintes questões: O fato de uma característica aumentar a aptidão biológica é suficiente para que esta seja designada uma adaptação? Para que uma característica seja considerada uma adaptação, é necessário que ela incremente a aptidão biológica? Ou não há qualquer dependência lógica entre adaptação e aumento de aptidão, de modo que é necessário e suficiente que a característica tenha tido origem na seleção natural para ser considerada uma adaptação?

Sober (1993) defende respostas negativas às duas primeiras questões e uma resposta afirmativa à terceira. Como resultado de sua argumentação acerca da necessidade e suficiência

da seleção natural para se considerar uma determinada característica uma adaptação, contrariando as interpretações de Williams (1966) e de Lewontin (1978) de que a seleção natural não é suficiente, embora necessária, Sober formula a seguinte definição de adaptação:

A é uma adaptação para a tarefa T na população P se e somente se A se tornou prevalente em P porque houve seleção para A, sendo que a vantagem seletiva de A foi devida ao fato de A ter auxiliado no desempenho da tarefa T (Sober, 1993, p.208).

Ao propor este conceito de adaptação, Sober faz uma opção darwinista pelo critério da gênese histórica, entendendo o problema identificado por Gould e Vrba (1982) como uma confusão ocorrida quando os critérios de gênese histórica e de utilidade corrente foram misturados num único termo, e buscando resolvê-lo sem que seja necessária a criação de uma nova terminologia, como fizeram aqueles autores, ao proporem o conceitos de exaptação e aptação.

Aplicando a definição de Sober ao caso das penas das aves, se considerarmos A como o caráter ‘presença de penas’, T como a função de termorregulação, e P como a população de *Archaeopterix*, grupo ancestral das aves, temos que: As penas (A) são uma adaptação para a termorregulação (T) na população de *Archaeopterix* (P,) uma vez que se tornaram prevalentes nesta população porque houve seleção natural para a presença de penas (A), sendo que a vantagem seletiva de possuir penas foi devida ao fato de a posse de penas ter auxiliado na termorregulação (T).

De acordo com a definição de Sober (1993), as penas não são vistas como adaptações para o vôo, mas sim para a termorregulação, dando lugar à análise das vias históricas a partir das quais foram cooptadas para o vôo, como, por exemplo, a análise de mudanças no regime seletivo e da flexibilidade de caracteres fenotípicos. Isso é possível porque a definição de Sober contempla a descrição dos componentes das forças seletivas e a identificação do significado seletivo do traço em questão, quando menciona a relação entre a vantagem seletiva do traço e o papel que este apresenta ou apresentou em auxiliar determinada tarefa. O próprio Sober aponta o papel central que este aspecto apresenta em sua definição, denominando-a “noção causal da seleção de propriedades” (Sober, 1993, p. 208). Desse modo, é preservada a importância heurística que o reconhecimento dos fenômenos designados por Gould e Vrba (1982) ‘exaptações’ apresenta para a biologia evolutiva, conforme sugeridos por estes autores: a identificação de “uma falha comum em grande parte do raciocínio evolutivo – a inferência histórica a partir da utilidade corrente” e a atenção para o papel – antes negligenciado – que características fenotípicas podem desempenhar “como variantes para aumentar ou restringir mudanças evolutivas” (Gould e Vrba, 1982, p. 538). É possível, contudo, que a abordagem de Sober somente dê conta da situação em que características que eram adaptações para uma dada função sejam cooptadas para uma nova função, mas não seja suficiente para o tratamento do caso mais enfatizado por Gould e Vrba, a saber, o de estruturas que não cumpriam função alguma (eram não-aptações) e foram então cooptadas para alguma função.

O conceito darwinista de adaptação proposto por Sober não implica a afirmação da necessidade da adaptatividade, ou do incremento da aptidão darwiniana, como no caso das definições formuladas no contexto da teoria sintética, nem tampouco implica a afirmação da suficiência da seleção natural para explicar a origem de quaisquer características funcionais observadas nos organismos, como advoga o adaptacionismo empírico, nem o reclame acerca da prioridade da adaptação em relação a outros fenômenos evolutivos, como feito pelo adaptacionismo explanatório. Ele propõe apenas que a condição necessária e suficiente para que uma característica seja designada uma adaptação é ser resultante de seleção natural. Desse modo, é reconhecida a possibilidade de que outras características com valor adaptativo tenham origem não-adaptativa, delimita-se a eficácia da seleção natural e o domínio de aplicação do próprio conceito de adaptação, tornando este último compatível com uma postura pluralista na explicação evolutiva.

5. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO

A despeito da controvérsia acerca do papel epistemológico do conceito de adaptação na pesquisa biológica, defendemos a abordagem deste conceito no ensino de evolução, no âmbito do ensino médio, pelas seguintes razões: (1) a despeito de a adaptação não ser necessária para a seleção natural (mas sim o inverso), a análise de casos de mudanças evolutivas adaptativas é importante no ensino da teoria da evolução por seleção natural, uma vez que propicia a aplicação do raciocínio seletivo pelos estudantes e fornece evidências empíricas convincentes da ação da seleção natural; (2) o conceito darwinista de adaptação pode ajudar os cidadãos a compreenderem fenômenos de evolução adaptativa de grande importância para a humanidade, como a resistência bacteriana a antibióticos e de pragas agrícolas a inseticidas, ou ainda, as dificuldades encontradas no controle de pandemias como a AIDS (ver Meyer; El-Hani, 2005), de modo a auxiliá-los a intervir em políticas públicas que terão consequências diretas na nossa qualidade de vida⁶; (3) o conceito darwinista de adaptação apresenta um papel histórico-filosófico no estabelecimento da concepção naturalista do universo que vem caracterizando o discurso científico desde meados do século XIX e, portanto, ao abordá-lo de modo informado pela história e filosofia da ciência, pode-se contribuir para o amadurecimento de uma concepção mais adequada da natureza da ciência.⁷

Defendemos como um objetivo fundamental para a abordagem da evolução no ensino médio a construção de uma compreensão do conceito darwinista de adaptação que não incorra numa perspectiva adaptacionista ingênua. Para tanto, propomos que o conceito darwinista de adaptação seja abordado do modo como se encontra formulado na definição de Sober (1993), dado que ela evita uma série de problemas enfrentados pelo conceito postulado pelo programa adaptacionista e se mostra compatível com a tendência pluralista de explicação dos fenômenos evolutivos na biologia evolutiva atual. Sugerimos que seja enfatizado que não devemos esperar encontrar funcionalidade em todas as características dos seres vivos, bem como que, a despeito de a seleção natural ser um mecanismo que tem papel central na explicação das mudanças evolutivas, e, de fato, explica satisfatoriamente adaptações observadas na natureza, a origem e evolução de algumas características que hoje apresentam valor adaptativo são mais adequadamente explicadas levando-se em conta outros mecanismos evolutivos. É importante que sejam explorados em sala de aula exemplos de características que não têm valor adaptativo e são resultantes de restrições estruturais, do desenvolvimento ou da história evolutiva. Similarmente, é interessante a análise de casos em que características que inicialmente foram interpretadas como adaptações se mostraram, posteriormente, sub-produtos de outros processos evolutivos, tendo adquirido posteriormente valor adaptativo, como é o exemplo das substâncias herbicidas em algumas espécies vegetais⁸. Nesta perspectiva, uma sugestão que vale a pena investigar é a de introduzir como recurso pedagógico no ensino de biologia narrativas históricas acerca da evolução de características complexas, em que os conceitos de adaptação e exaptação possam ser percebido como igualmente necessários para a compreensão da origem e evolução da forma orgânica. Para tanto, podem ser explorados casos já bem documentados na literatura, como a exaptação das penas das aves para o voo, e as adaptações secundárias por elas experimentadas, em função da mudança de regime seletivo.

No que diz respeito ao ensino superior, temos observado que os estudantes entram em contato com diferentes compreensões acerca do conceito de adaptação em disciplinas ligadas a diferentes campos e tradições de pesquisa, como genética de populações, ecologia evolutiva, sistemática, mas, no entanto, não têm tido oportunidade de compreender que a variação conceitual em relação ao termo, que vivenciam ao longo do próprio curso, tem raízes históricas e está relacionada a diferentes contextos de enunciação, próprios de diferentes abordagens teóricas e interesses práticos presentes na pesquisa em ciências biológicas. Diante desse quadro, sugerimos a abordagem do desenvolvimento histórico do conceito de adaptação, desde a sua

formulação pela teologia natural do século XVII, passando pela compreensão darwinista original e da teoria sintética da evolução, e chegando aos debates contemporâneos acerca dos problemas enfrentados pelo conceito como formulado pelo programa adaptacionista e de seu papel epistemológico na pesquisa em biologia. O objetivo é que os estudantes possam compreender as raízes históricas da polissemia do termo e compreendam os contextos de aplicação das diferentes compreensões concorrentes que atualmente existem na comunidade de biólogos. Esta proposta pode ser implementada tendo como fundamentação a noção de perfil conceitual desenvolvida por Mortimer (2000), como sugerimos em Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALTERS, B.J.; NELSON, C.E. Teaching Evolution in Higher Education. **International Journal of Organic Evolution**, v. 56, n.10, pp. 1891-1901. 2002.
- AMUNDSON, R. Historical development of the concept of adaptation. In: ROSE, M.R.; LAUDER, G.V. (ed.) **Adaptation**. San Diego: Academic Press. 1996.
- ANDREWS, P.W.; GANGESTAD, S.W. MATTHEWS, D. Adaptationism – How to carry out an exaptationist program. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 25, pp. 489-553. 2002.
- BISHOP, B.A. , ANDERSON, C.W. Student conception of natural selection and its role in evolution. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 5 , pp.415-427.1990
- BIZZO, N.M.V. From Down House Landlord to Brazilian high school students: what has happened to evolutionary Knowledge on the way. **Journal of Research in Science Teaching**, v.31, n.5, pp. 517-556. 1994
- BLOOM, P. & WEISBERG, D. S. Childhood origins of adult resistance to science. **Science** v. 316, pp. 996-997. 2007.
- BOCK, W. The synthetic explanation of macroevolutionary change – a reductionist approach. **Bull. Carnegie Mus. Nat. Hist.**, v.13, pp. 20-69. 1979.
- BOCK, W. The definition and recognition of biological adaptation. **Am. Zool.**, v.20, pp.217-227. 1980.
- BRANDON, R.N.; RAUSHER, M.D. Testing Adaptationism: A comment on Orzack and Sober. **American Naturalist**, v. 148, pp. 189-201.
- BRUMBY, M. N. Misconceptions about the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students. **Science Education**, v.68, n.4, pp.493-503, 1984.
- BULL, J. J. & WICHMAN, H. A. Applied evolution. **Annual Review of Ecology and Systematics** v.32, pp.183-217. 2001.
- CLOUGH, E.E.; WOOD-ROBINSON, C. How secondary students interpret instances of biological adaptation. **Journal of Biological Education**, v. 19, n.2, 1985.
- DAWKINS, R. **The blind watchmaker**. New York: Norton. 1986.
- DENNETT, D.C. **Darwin's dangerous idea**. New York: Simon and Schuster. 1995.
- FUTUYMA, D. **Biologia evolutiva**. Ribeirão Preto: SBG/CNPq. 1992
- GODFREY-SMITH, P. Adaptationism and the power of selection. **Biology and Philosophy**, v.14, pp. 181-194. 1999.
- GODFREY-SMITH, P. **Three kinds of adaptationism**. In: S.H. ORZACK; E. SOBER (eds.) **Adaptationism and Optimality**. Cambridge University Press. 2001, pp. 335-357.
- GOULD, S.; LEWONTIN, R. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of The Royal Society of London** v.205, pp. 581-598. 1978.
- GOULD, S.; VRBA, E.S. Exaptation – a missing term in the science of form. **Paleobiology**, v. 8, pp.4-15.1982.
- KELLER, E. F.; LLOYD, E.(ed). **Keywords in evolutionary biology**. 4ed. Harvard University Press. 1999.

- LAUDER, G.V. Historical biology and the problem of design. In: ALLEN,C; BEKOFF,M.; LAUDER,G. (eds.) **Nature's purposes: analyses of function and design in biology**. Massachusetts: Bardford. 1998.
- LEVINS,R; LEWONTIN,R. **The dialectical biologist**. Cambridge: Haward University Press. 1985.
- LEWONTIN,R. Adaptation. **Scientific America**, v. 249, pp. 212-222, nov., 1978.
- LEWONTIN,R. Darwin's revolution. **The New York Review of Books**, v.30, pp. 21-27. 1983.
- LEWONTIN, R. Billions and Billions of Demons. **The New York Review of Books**, v.44, pp. 28-32. 1997.
- LEWONTIN, R. **A tripla hélice**. São Paulo: Companhia das Letras. 2002. 138p.
- LUCAS, A.M. The teaching of "Adaptation". **Journal of Biological Education**, v.5, pp. 86-90.
- MAYR, E. **Toward a New Philosophy of Biology**. Cambridge: Harvard University Press. 1988.
- MEYER, D.; EL-HANI, C. N. Evolução. In: EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P.(orgs). **O que é vida afinal? Para entender a Biologia do século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará. 2000.
- MEYR,D.; EL-HANI, C.N. **Evolução: o sentido da Biologia**. São Paulo: Editora UNESP, 2005.
- MORTIMER, E. F.. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000.
- PIGLIUCCI,M.; KAPLAN,M. The fall and rise of Dr. Pangloss: adaptationism and the Spandrels paper 20 years later. **Trends in Ecology and Evolution**, v.15, p.66-70. 2000.
- ORZACK, S.H; SOBER,E. Optimality models and the test of adaptationism. **American Naturalist**, v.143, pp. 3161-380. 1994.
- ROSE,M.R.;LAUDER,G.V. Post-Spandrel Adaptationism. In: ROSE,M.R.; LAUDER,G.V. (ed.) **Adaptation**. San Diego: Academic Press. 1996.
- SANTOS, S.; SIEDSCHLAG, A.C. As produções artísticas e as idéias cotidianas sobre a evolução dos seres vivos. In: TRIVELATO, S. L. F.; SILVEIRA, R.M. DA; DOMINGUEZ, R. C. (Coord.). **Coletânea do VIII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia** [CD-Room]. São Paulo: FEUSP/ EDUSP. 2002
- SEPULVEDA,C.; EL-HANI,C. Obstáculos epistemológicos e ontológicos à compreensão do conceito darwinista de adaptação: implicações para ensino de evolução. **Cuadernos de Investigación**, 2007 (no prelo).
- SEPÚLVEDA C., MORTIMER, E.F.; EL-HANI, C. Construção de um perfil para o conceito de adaptação evolutiva. Atas do **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Científica**. Florianópolis: ABRAPEC. 2007.
- SOBER, E. **The Nature of selection: evolutionary theory in philosophical focus**. Chicago: The University of Chicago Press. 1993. 383p.
- STERELNY, K. Where does thinking come from? **Biology and Philosophy**, 12, 551-566. 1997.
- STERELNY, Kim; GRIFFITHS, P. E. **Sex and death: An introduction to Philosophy of Biology**. Chicago: The University Chicago Press. 1999. 440p
- VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes. 2001.
- WILLIAMS,G.C. **Adaptation and Natural Selection**. Princeton:Princeton University Press. 1966.

NOTAS:

¹ Estas restrições são decorrentes do fato de que os processos de desenvolvimento, a natureza das interações físicas entre as células e a influência de estruturas preexistentes sobre as mudanças que podem vir a ocorrer nos organismos limitam o repertório de formas que podem ser produzidas no mundo vivo, e, juntamente com a variação herdada dos ancestrais, regulam a diversidade de organismos variantes sob as quais à seleção natural pode atuar. Estas restrições constituem processos que enviam a distribuição de variações nas populações, e, assim, influenciam a direção e velocidade do processo evolutivo.

² O termo “design” é utilizado por estes autores com sentido semelhante àquele sugerido por Lauder (1998, p.508), qual seja, o ajuste da organização estrutural biológica a uma função hipotética. Não se trata de que este ajuste poderia demandar explicações que apelem a um *designer*, na medida em que a biologia evolutiva naturaliza tanto o *design* quanto os modelos explicativos propostos para dar conta de sua origem e existência.

³ Godfrey-Smith esclarece que, ao usar o termo ‘pessoal’, tem clareza de que não se trata de uma questão de nível individual, mas de uma espécie de envolvimento kuhniano de uma comunidade científica com uma certa classe de problemas. De qualquer maneira, o que pretende argumentar é que o fato de o cientista considerar certos tipos de problemas particularmente intrigantes não deve levá-lo a confundir seu estado de perplexidade com os aspectos do mundo que estuda (Godfrey-Smith, 1999, p. 189).

⁴ Pigliucci e Kaplan (2000) apresentam uma síntese dos avanços conceituais e empíricos ocorridos desde a publicação da crítica de Gould e Lewontin, em 1978.

⁵ Sober (1993, p. 196) utiliza o termo *adaptedness*, considerando-o apenas como outra designação para *fitness*.

⁶ Para uma discussão acerca de exemplos de biologia evolutiva socialmente relevante, ver Bull e Wichman (2001).

⁷ Uma argumentação mais extensa acerca destas razões é encontrada em Sepúlveda e El-Hani (2007).

⁸ O texto “Adaptação ou não?” (Tidon-Sklorz, 2001), publicado no volume nove da coleção *Ciência Hoje na Escola*, pode ser um recurso didático apropriado para a abordagem do conceito de adaptação no terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental, e até mesmo no ensino médio. Devem ser consideradas, contudo, as observações feitas por Santos e Siedschlag (2002), acerca das ilustrações que acompanham o texto.