



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

PAOLA SUSSAI LUZ CEZARE

**OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E PEDAGÓGICOS
EM RELAÇÃO À ADAPTAÇÃO BIOLÓGICA:
CONCEITOS E PROPOSTAS PEDAGÓGICAS**

Londrina
2016

PAOLA SUSSAI LUZ CEZARE

**OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E PEDAGÓGICOS
EM RELAÇÃO À ADAPTAÇÃO BIOLÓGICA:
CONCEITOS E PROPOSTAS PEDAGÓGICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Aparecida Bologna Soares de Andrade

Londrina
2016

PAOLA SUSSAI LUZ CEZARE

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E PEDAGÓGICOS EM
RELAÇÃO À ADAPTAÇÃO BIOLÓGICA: CONCEITOS E
PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Aparecida
Bologna Soares de Andrade
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Lucken Bueno Lucas
Universidade Estadual do Norte do Paraná –
UENP

Profa. Dra. Fernanda Aparecida Meglhioratti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE

Londrina, 8 de março de 2016.

“Não há uma verdade fundamental, apenas há erros fundamentais”

Bachelard

CEZARE, Paola Sussai Luz. **Obstáculos epistemológicos e pedagógicos em relação à adaptação biológica**: conceitos e propostas pedagógicas. 2016. 85 fls. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2016.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo a respeito do conceito de Adaptação dos Seres Vivos. O trabalho foi construído no formato de multipaper. No primeiro artigo intitulado *A Epistemologia de Bachelard e a Construção do Conceito de Adaptação das Espécies*, apresentamos uma retomada histórica da construção do conceito de adaptação, no qual utilizamos o referencial de Gaston Bachelard para evidenciar a origem de certos obstáculos epistemológicos. No segundo artigo intitulado *A transição do Habitat Aquático Para o Terrestre Pelos Vertebrados Sarcopterígeos: Uma Proposta de Seleção de Conteúdos Baseada em Conceitos Estruturantes* partimos da noção de Adaptação como conceito estruturante, para identificar como esse conceito estruturante se articula com os conceitos auxiliares, contemplando tanto a biologia evolutiva como a funcional. O terceiro artigo possui o formato capítulo, este foi intitulado *Superando Obstáculos Epistemológicos e Pedagógicos: Sequência Didática da Construção Histórica do Conceito de Adaptação e a Narrativa Histórica da Transição do Ambiente Aquático Para o Terrestre Por um Grupo de Vertebrados*, aqui propomos uma sequência didática baseada nos dois artigos anteriores, como meio de superar obstáculos pedagógicos que surgem na dinâmica da construção do conhecimento em sala de aula.

Palavras-chaves: Ensino de Ciências. Obstáculos Epistemológicos. Obstáculos Pedagógicos. Ensino de evolução.

CEZARE, Paola Sussai Luz. **Epistemological and pedagogical obstacles in relation to biological adaptation**: concepts and pedagogical proposals. 2016. 85 pgs. Dissertation (Masters in Science and Mathematics Education Teaching) - State University of Londrina, Londrina. 2016.

ABSTRACT

This dissertation presents a study about the concept of adaptation of the living beings. The work was built in multipaper format. On the first article entitled *The epistemology of Bachelard and the construction of the concept of adaptation of species*, we present a historical resumption of construction of the concept of adaptation, in which we use the framework of Gaston Bachelard to show the origin of certain epistemological obstacles. In the second article entitled *The transition from aquatic habitat for land by sarcopterígios vertebrates: a proposal of content selection based on structuring concepts*, we start with the concept of adaptation as a structural concept in biology to develop a teaching sequence about the environment occupation by terrestrial vertebrates, contemplating the Functional Biology and Evolutionary Biology. The third article has a chapter format, this was titled *Overcoming epistemological and pedagogical obstacles: didactic sequence of the historical construction of the concept of adaptation and Historical Narrative of Transition Aquatic Environment For Terrestrial Vertebrates For a group* we propose a teaching sequence based on the previous two articles, as a means to overcome educational obstacles that arise in the dynamics of the construction of knowledge in the classroom.

Key words: Science education. Epistemological obstacles. Obstacles teaching. Teaching of evolution.

AGRADECIMENTOS

Muitos foram os responsáveis por esta jornada que parecia ser tão grande, mas já está chegando ao fim. Agradeço primeiramente ao meu marido Adriano, amigo e parceiro para todos os momentos, sempre ouvindo minhas ideias para esta dissertação com boa vontade e paciência, apesar de não saber muito a respeito do que eu dizia. Sempre me apoiou e confiou na minha capacidade.

A minha orientadora Mariana, que me ajudou demais a desenvolver minhas ideias que eram em princípio confusas, pois esta é uma característica do estudante de mestrado, querer fazer mil coisas diferentes, mas aos poucos fomos traçando juntas o caminho que levou a este trabalho.

Agradeço a disponibilidade que ela sempre teve em me atender e esclarecer minhas dúvidas e a paciência por todas as vezes que mandei o trabalho para ela ler sem a formatação do parágrafo justificada. Não vou me esquecer disso jamais. E também por ter me apresentado à leitura de Bachelard, que me encantou profundamente e foi aonde tudo começou.

Agradeço a Deus, a minha família, aos meus amigos pelo apoio, aos professores do programa pelas aulas ministradas, que contribuíram muito para o meu crescimento como pesquisadora e ao nosso grupo de pesquisa pelas colaborações e objeções sempre muito relevantes.

O meu muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	9
CAPÍTULO 1	
A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO DAS ESPÉCIES.....	13
CAPÍTULO 2	
A TRANSIÇÃO DO <i>HABITAT</i> AQUÁTICO PARA O TERRESTRE PELOS VERTEBRADOS SARCOPTERÍGIOS: UMA PROPOSTA DE SELEÇÃO DE CONTEÚDOS BASEADA EM CONCEITOS ESTRUTURANTES.....	46
CAPÍTULO 3	
SUPERANDO OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E PEDAGÓGICOS: SEQUÊNCIA DIDÁTICA DA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO E A NARRATIVA HISTÓRICA DA TRANSIÇÃO DO AMBIENTE AQUÁTICO PARA O TERRESTRE POR UM GRUPO DE VERTEBRADOS.....	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO.....	84
APÊNDICE 1– A TRANSIÇÃO DO AMBIENTE AQUÁTICO AO TERRESTRE.....	85

APRESENTAÇÃO

A escrita é uma das formas de expressão que sempre me encantou, fui daquelas adolescentes que tinham diários, cadernos com pensamentos e poesias. Na escola uma das coisas que mais gostava era fazer redação, pois sentia que ali era o momento de me expressar, de ser crítica e de ultrapassar todas as fronteiras do pensamento.

As ciências surgiram na minha vida, em princípio, pelo fascínio que sempre tive por astronomia, me encantava e me encanta até hoje. Quando terminei o colégio não fazia a mínima ideia do que gostaria de ser, pois gostava de muitas coisas e isto de certa forma me atrapalhava a tomar uma decisão, por isso comecei a estudar muitas coisas diferentes para tentar decidir por algo.

Tenho duas irmãs, uma formada em ciências sociais e a outra em história, sendo muito influenciada por esses dois campos de conhecimento. Certo dia minha irmã das sociais disse que tinha um presente para mim que eu iria gostar muito, foi quando abri o embrulho e dentro havia um livro que marcaria muito a minha vida, olhei para aquele livro de 500 e tantas páginas, sem imaginar o que me esperava. Era *O Mundo de Sofia*, um livro que foi um marco em minha vida. Acredito que eu tenha viajado nessa leitura tanto quanto a Sofia, foi encantador. Essa leitura me instigou muito a tentar compreender a história do pensamento, pois é um livro leve, para adolescentes e muito instigante.

No livro há um capítulo a respeito de Darwin e sua jornada que despertou muito meu interesse, confesso que no colégio pouco aprendi sobre evolução, não me lembrava de quase nada. A partir do contato com essa leitura a Biologia começou a brilhar em meu caminho, já era uma disciplina que eu gostava na escola e tinha um bom desempenho. Comecei a estudar sozinha para o vestibular, peguei livros didáticos de Biologia e entrei em uma rotina bem intensa de leitura e muito estudo. Em 2009 fui aprovada no vestibular da UEL. Meu sonho se tornou realidade.

Os melhores anos da minha vida foram na época da graduação, adorava as aulas, os professores eram excelentes, aprendi muita coisa e percebi que poderia ir longe. Mesmo tendo estudado a vida toda em escolas públicas não me sentia intimidada em nada, e acredito que o gosto pela escrita e leitura foi essencial em minha jornada. No primeiro ano da graduação estagiei em um laboratório de genética molecular, aprendi muito a respeito de extração e de amplificação de DNA, entre outras coisas. Participei de algumas coletas de materiais para a pesquisa que realizávamos em laboratório, foi uma experiência incrível. Fui

monitora de Zoologia no terceiro ano da graduação, o que me possibilitou retomar e ampliar os conteúdos que já havia aprendido nessa disciplina. Participei também do PIBID, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência, por meio do qual tive um contato maior com a docência, algo que sempre me interessou bastante.

No último da graduação cursei a disciplina propriamente dita de Evolução Biológica, que foi incrível. Costumamos dizer que é na perspectiva evolucionista tudo faz sentido em Biologia. Um ano antes eu havia feito uma disciplina especial de Evolução Humana, então estava muito empolgada com o que me aguardava. Na disciplina de Evolução percebi o quanto a História da Ciência e Filosofia eram necessárias para compreender esse conteúdo, e minha opção por trabalhar com a evolução no mestrado foi justamente pela possibilidade de integrar mais áreas do conhecimento.

Como sempre gostei muito de filosofia, o conteúdo de evolução foi para mim uma oportunidade de ir além da chamada área dura das Ciências Biológicas e fazer um trabalho que acredito ser mais coerente com a minha formação pessoal, e poder mobilizar conhecimentos que eu entrei em contato durante minha vida para, enfim, escrever esta dissertação.

Também durante o último ano da graduação conheci minha orientadora Mariana e vi que ela atuava na pós-graduação na linha de História e Filosofia da Ciência. Fui até ela apresentar minhas ideias e obtive muito apoio, algumas ideias do que poderia fazer e, por fim, seu desejo de boa sorte para a seleção no mestrado. No final de 2013 tive a alegria de ter sido aprovada no mestrado.

Este foi um relato breve de minha jornada até o mestrado, que passa rápido e nem nos damos conta. Apresento a vocês o resultado de dois anos de pesquisa e leituras. Esta dissertação tem como foco o conceito de adaptação na evolução biológica. Como a evolução envolve uma série de conceitos destacamos a adaptação em especial, devido à relevância da mesma, evidenciada da literatura, e o que ela representa na teoria Sintética da Evolução das Espécies.

Nossa fundamentação teórica se apoia na epistemologia de Gaston Bachelard, um filósofo e epistemólogo muito utilizado em trabalhos em Ensino de Ciências, que possui uma obra com um olhar a respeito do ensino bastante contemporânea.

Esta dissertação está dividida em artigos. Este formato é conhecido por multipaper, permitindo que se insiram artigos à dissertação durante o processo de elaboração do trabalho

(DUCK; BECK, 1999)¹. Esses artigos geralmente são publicados em periódicos nacionais ou internacionais, tornando-se acessíveis ao público, facilitando a divulgação científica e promovendo a disseminação de resultados entre os pesquisadores e a comunidade científica (DUCK; BECK, 1999). Entretanto, salientamos que as duas primeiras seções deste trabalho apresentam formato de artigos para serem enviados para revistas e o terceiro caracteriza-se como um capítulo de livro.

O primeiro artigo consiste em uma síntese histórica da construção da noção de mudança biológica, para entrarmos em adaptação que é um conceito da teoria da evolução dos seres vivos. As teorizações de Bachelard estão presentes nos três artigos, no entanto, no primeiro apresentamos sua epistemologia e como o conhecimento era estabelecido antes dela. Como resultado desse primeiro artigo, temos uma aproximação de uma vertente da epistemologia Bachelardiana, os Obstáculos Epistemológicos e a Filosofia do Não, aplicados à construção histórica do conceito de adaptação das espécies.

O segundo artigo utiliza a Adaptação como um conceito estruturante na biologia, pois, de acordo com Mayr (1961), os conteúdos em biologia devem contemplar a biologia funcional e a biologia evolutiva. Dessa forma, ao elegermos a adaptação como um conceito estruturante, desenvolvemos uma discussão sobre adaptação como tema estruturante para a temática: A transição do habitat aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígijs, de maneira que esta contemplasse as duas abordagens supracitadas.

Os dois primeiros artigos compõem a base teórica para a elaboração do terceiro capítulo. A terceira seção do trabalho, em forma de capítulo de livro, apresenta uma proposta de ensino de adaptação em âmbito histórico referente ao primeiro artigo, contemplando também a articulação entre o conceito estruturante adaptação e os conceitos auxiliares que possibilitaram a transição do habitat aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígijs que delineamos no segundo artigo.

Bachelard, em suas obras, sempre procurou estabelecer relações entre suas considerações a respeito da Ciência e o Ensino. Encontramos em Pierre Astolfi uma junção entre os trabalhos de Bachelard com o Ensino de Ciências, e o trabalho em sala de aula, o que nos ajudou a aprofundar a ideia de obstáculos pedagógicos, desenvolvida também por Bachelard. Sendo o nosso foco o conceito de adaptação, a construção de uma sequência

¹ DUKE, N. K.; BECK, S. W. Education should consider alternative formats for the Dissertation. **Educational Researcher**, v. 28, p. 31-36, 1999.

didática visa à superação dos obstáculos pedagógicos que aparecem quando conhecimentos em sala de aula são mobilizados. Astofi propõem quatro etapas respectivamente de superação de obstáculos: identificação do obstáculo, fissuração, superação do obstáculo e a automatização.

CAPÍTULO 1

A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO DAS ESPÉCIES

The epistemology of Bachelard and the construction of the adaptation of the species concept

RESUMO

A adaptação das espécies é uma das ideias centrais da síntese evolutiva, contudo, alguns obstáculos epistemológicos estão presentes na construção histórica desse conceito. A história da ciência emerge dos contextos de desenvolvimento e produção da ciência, os obstáculos epistemológicos emergem dos mesmos contextos, dessa forma a epistemologia de Bachelard é adotada como referencial teórico principal. Ao utilizar a epistemologia histórica e crítica de Bachelard, são evidenciados os obstáculos epistemológicos presentes na construção do conceito de adaptação, ao longo do tempo, desde a visão fixista das espécies até à síntese moderna. Rupturas e descontinuidades também foram evidenciados nessa retomada histórico-epistemológica. Concluímos que o conceito de adaptação passou por controvérsias. Em princípio mudanças foram atribuídas à obra do criador que visava o melhor arranjo possível para as espécies; em outro momento as ideias de mudança ganharam força, no entanto, a adaptação foi entendida como uma resposta ao ambiente; posteriormente, com a publicação das ideias de Darwin, a adaptação é compreendida como algo que existe nos indivíduos (os indivíduos apresentam diferentes tipos de adaptações), porém o ambiente seleciona as combinações mais favoráveis; a conciliação entre a teoria de Darwin e Mendel culminou na síntese evolutiva, aqui os mecanismos genéticos mais a seleção natural explicam a surgimento e a fixação de características adaptativas nas espécies.

Palavras-chave: Obstáculos Epistemológicos. História da Ciência. Ensino de Evolução. Adaptação Biológica.

ABSTRACT

The adaptation of the species is one of the central ideas of evolutionary theory, however some epistemological obstacles are present in the historical construction of the concept. The history of science emerges from the contexts of development and production of science, the epistemological obstacles emerge from these same contexts, so the Bachelard's epistemology is our main theoretical framework. By using the historical epistemology and critique of Bachelard, we aim to highlight the epistemological obstacles present in the construction of the concept of adaptation over time starting in a fixist vision of the species until we get the modern synthesis. Breaks and discontinuities were also observed in this epistemological-historical resume. We conclude that the adaptation concept passed controversy. In principle, this was attributed to the work of the creator who sought the best possible arrangement for the species; at another time the changing ideas gained strength, however, the adjustment has been understood as a response to the environment; later, with the publication of Darwin's ideas, adaptation is understood as something that exists in individuals (individuals have different types of adaptations) but the environment selects the

most favorable combinations; the conciliation between Darwin and Mendel theory culminated in the evolutionary synthesis, here the genetic mechanisms more natural selection explain the emergence and the establishment of adaptive traits.

Keywords: Epistemological Obstacles. History of Science. Teaching of Evolution. Biological Adaptation.

INTRODUÇÃO

A teoria da Evolução Biológica é o eixo estruturante de toda a Biologia, pois os diversos conteúdos devem ser apresentados com um enfoque evolutivo (BIZZO, 1991; BIZZO; EL-HANI, 2009). Destacamos nesse artigo o conceito de *adaptação* que é um dentre tantos conceitos imprescindíveis na teoria evolutiva e um tema bastante evidenciado da literatura a respeito da Evolução Biológica.

A opção de juntar este tema com a epistemologia de Bachelard se deve à contemporaneidade de suas contribuições acerca do processo de construção da ciência. Bachelard foi um epistemólogo nascido em 27 de junho de 1884, no vilarejo de Bar-sur-Aube, na região de Champagne, interior da França, ingressou na Academia de Ciências Políticas e Morais de Paris em 1955 e recebeu o Grande Prêmio Nacional das Letras em 1961 (JAPIASSU, 1976).

Aos 35 anos seguiu caminho para o campo da Filosofia, tornando-se professor de ciências e filosofia em Bar-sur-Aube. Em 1930 foi convidado a lecionar na Faculdade de Dijon onde permaneceu até 1940, quando então foi convidado a lecionar na Sorbonne de Paris (JAPIASSU, 1976). Em sua construção epistemológica Bachelard apresenta fundamentos teóricos que explicam a formação de uma consciência científica, o que ele chama de espírito científico. Em sua obra o autor não discute a formação de conceitos, entretanto, tomaremos como base sua construção histórica para apresentar uma análise da história do pensamento biológico a respeito da evolução biológica com o enfoque no conhecimento sobre adaptação. Utilizaremos suas considerações a respeito de obstáculos epistemológicos para analisar os obstáculos que surgiram ao longo da história da biologia até a emergência do pensamento evolutivo.

A epistemologia de Bachelard data do início de 1900, um período no qual as ciências mantinham um forte teor metodológico empirista, proveniente da física e matemática (MAYR, 2005). A epistemologia do autor supracitado rompe com a ciência lógica e positivista, sendo ele um crítico da escola de Viena (YAMAZAKI, 2013). A historicidade é claramente evidenciada por Bachelard em suas contribuições a respeito de rupturas e

descontinuísmos na ciência, assim como a noção de obstáculos epistemológicos também apresentados pelo autor.

O enfoque histórico-epistemológico dado à ciência por Bachelard nos auxilia a compreender as mudanças que ocorreram com o conceito de adaptação ao longo da história. Os exemplos citados em suas obras *A filosofia do Não* publicada em 1940 e a *Formação do Espírito Científico* com publicação em 1938 acerca da construção do pensamento científico podem orientar a escolha e as explicações sobre os episódios históricos relativos às mudanças nos seres vivos.

O conteúdo de evolução biológica é permeado por questões conflituosas (MAYR, 1966; SEPÚLVEDA; EL-HANI, 2006; CAIRES; CEZARE; ANDRADE, 2015), relativas ao significado do termo evolução em sua gênese. Alguns exemplos dessas questões incluem a noção de existência de algum propósito (finalidade) no processo evolutivo, questões de cunho religioso relativos à origem da vida, entre outras. Tomaremos para fins de discussão, neste artigo, a evolução em seu aspecto adaptativo.

Ridley define evolução biológica como:

[...] mudança na forma e no comportamento dos organismos ao longo das gerações. As formas dos organismos, em todos os níveis, desde sequências de DNA até a morfologia macroscópica e o comportamento social, podem ser modificadas a partir daquelas dos seus ancestrais durante a Evolução (RIDLEY, 2006, p. 28).

Compreender os processos evolutivos envolve o entendimento de diversos conceitos como: mutação, reprodução diferencial, seleção natural, seleção sexual, variação, adaptação, entre outros. Para nossa investigação iremos concentrar nossos esforços no conceito de adaptação. Dentre os diversos conceitos, escolhemos estudar o de adaptação porque

[...] é um conceito fundamental da teoria evolutiva. De fato, ela é um dos principais instrumentos da biologia evolutiva moderna para explicar as formas de adaptação encontradas nos seres vivos. Adaptação refere-se à concepção da vida, aquelas propriedades dos seres vivos que os tornam capazes de sobreviver e de se reproduzirem na natureza (RIDLEY, 2006, p.40).

A relevância de compreender o conceito de adaptação, não diminui a importância dos outros conceitos para conhecimento sobre evolução biológica. A escolha pelo estudo do conceito de adaptação se deu pela quantidade de concepções alternativas apresentadas sobre esse tema como evidenciado por Sepúlveda e El-Hani (2006).

Popularmente, o termo adaptação remete a uma série de interpretações que destoam da maneira pela qual a adaptação é compreendida no âmbito científico atualmente. Assim, o

objetivo geral desse artigo é traçar quais são os obstáculos epistemológicos para a compreensão do conceito de adaptação. Contudo, traçamos dois objetivos específicos: (1) Elaborar um estudo teórico da obra de Bachelard apresentando aspectos a respeito da História e Filosofia da Ciência. (2) Fazer uma análise histórico-epistemológica da construção do conhecimento científico referente à adaptação dos seres vivos a partir da obra de Bachelard. Para tanto, utilizaremos a “Filosofia do Não” e os “Obstáculos Epistemológicos” de Bachelard com o propósito de evidenciar os episódios históricos em que rupturas, descontínuismos e obstáculos manifestaram-se nas construções de explicações adaptativas.

Nossos referenciais teóricos principais foram “A Filosofia do Não” e “A Formação do Espírito Científico”, na segunda obra, Bachelard introduz a noção de obstáculos epistemológicos. Ambos serão discutidos no decorrer desse artigo. Contaremos com o apoio da epistemologia baseada na história da ciência para dar maior consistência à nossa argumentação.

Nossa discussão inicia-se com um breve panorama a respeito da filosofia para introduzirmos noções de epistemologia. A filosofia é considerada por muitos como a mãe de todas as ciências, pois antes das especializações de cada área tornarem-se ciências próprias como a Física, a Biologia, a Lógica, etc., a filosofia foi a primeira forma de conhecimento racional (SERRA, 2008). O mesmo autor cita que Kant teria delimitado campos distintos entre a Ciência e a Filosofia, pois para o filósofo alemão, se a ciência tem como objeto de conhecimento a natureza, caberá à filosofia determinar as condições e os limites desse conhecimento, ou seja, “o que posso conhecer?” (Epistemologia), “o que devo fazer?” (Moral ou Ética) e assim por diante.

Japiassu (1986) afirma que a relação entre a Epistemologia e a Filosofia tem raízes profundas, como supracitado, e dessa forma não há como separá-las, pois a Filosofia é uma exigência fundamental de qualquer olhar crítico e reflexivo sobre a Ciência. Para o autor, “[...] sabemos mais o que a epistemologia não é do que o que ela é, pois ela está longe de ter uma definição” (JAPIASSU, 1986, p. 23). No entanto, para fins de estudo podemos apresentar a epistemologia como sendo o estudo metódico e reflexivo do saber, considerando sua formação, sua organização, seu desenvolvimento e funcionamento de seus produtos (JAPIASSU, 1986).

Japiassu (1896) apresenta algumas categorias epistemológicas que serão exploradas por nós no decorrer desse artigo.

- a) Obstáculos epistemológicos: que se referem às inércias do pensamento, que surgem no momento da constituição da ciência, também compreendidos como “paradas no pensamento”.
- b) Corte epistemológico: trata-se da necessidade de se definir uma atitude científica em oposição a atitudes pré-científicas. Refere-se a um corte do momento em que a ciência se constitui e sua pré-história, juntamente com o meio ambiente ideológico no qual ela se relaciona. Não se trata de uma quebra instantânea no saber, mas sim de um processo complexo no decorrer do tempo no qual se constitui uma nova ordem inédita do saber.
- c) Vigilância epistemológica: esta categoria remete a uma atitude reflexiva sobre o método científico, ou seja, uma atitude que nos leva a aprender a lógica do erro, para constituir a lógica da descoberta.
- d) Recorrência epistemológica: essa categoria liga a ciência em seu passado, para analisar o seu presente. É este conceito que torna possível o desenvolvimento de uma história teórica ou de um conhecimento teórico da história das ciências. É ele que nos permite compreender o dever real de uma ciência que é o objeto da epistemologia histórica.

A maneira como utilizaremos a epistemologia de Bachelard para contar a construção do conceito de adaptação ao longo da história, irá perpassar todas as categorias epistemológicas citadas. Bachelard nos apresenta uma epistemologia baseada na história da ciência, assim em suas obras o autor procura estudar a ciência atual, ou seja, de sua época, retornando ao passado, pois para ele muitas das respostas aos obstáculos “atuais” estão na maneira em que estes foram construídos e compreendidos no passado.

Para Japiassu (1981) a epistemologia baseada na história da ciência possui tanto um interesse heurístico quanto um interesse pedagógico:

[...] o heurístico porque nos faz perceber a necessidade que têm os cientistas de remontarem no tempo para descobrirem ou fortalecerem os princípios de suas respectivas ciências, ou então para descobrir-lhes uma causação histórica; pedagógico, porque aquilo que normalmente é ensinado em ciências constitui quase que sempre o resultado de tateamentos de erros corrigidos. Se não devemos subestimar o valor da chamada “ciência ensinada” que, por sua simplificação e seus formalismos, permite ao aluno economizar longos e sinuosos trajetos que a ciência teve que percorrer para se formar, creio ser sumamente frutuoso que o aluno e os mestres possam representar-se a ciências, não como uma somatória de resultados objetivos, mas naquilo que efetivamente ela é, ou seja, uma pesquisa conduzindo tanto ao erro quanto à verdade², jamais se tomando como um saber

² Compreendemos o uso do termo verdade com o sentido de construção de um conhecimento que venha a ser aceito por uma comunidade.

acabado, pois tem a necessidade de superar obstáculos sempre remanescentes (JAPIASSU, 1981, p. 5).

A valorização de uma epistemologia baseada na história das ciências é relativamente recente, vindo a ganhar força apenas em meados do séc. XX. A atividade científica advinda antes deste período foi marcada por uma concepção de ciências predominantemente lógica e empirista (SERRA, 2008).

1. Uma abordagem Histórica da Ciência

“Muitos afirmam que o pensamento metafísico e teologizante hoje volta a crescer, não apenas no âmbito da vida como também no da ciência” Este excerto extraído do panfleto *A Concepção Científica do Mundo – Círculo de Viena*, de Hans Hahn, Otto Neurath e Rudolf Carnap (1929), auxilia a compreender a essência do que foi esse movimento.

O pensamento metafísico ³foi “utilizado” por teóricos das ciências, como Kepler, Newton, entre outros. Muitos desses estudiosos introduziram pensamentos metafísicos em suas explicações físicas como os movimentos planetários, a organização do cosmos etc. O Círculo de Viena foi uma reação à argumentação metafísica que era atribuída à ocorrência dos fenômenos naturais. Este teve Moritz Schlick como uma espécie de fundador e contou com a participação de pesquisadores em Filosofia, Física, Lógica, Matemática, entre outros, que objetivaram delimitar o que poderia ser considerado científico (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986; CHALMERS, 1993).

Uma espécie de movimento antimetafísico se espalhou por países da Europa e na América do Norte, mas encontrou em Viena um solo fértil, pois

[...] na segunda metade do século XIX, o liberalismo era, havia muito, a orientação política ali dominante. Seu mundo intelectual provém do iluminismo, do empirismo, do utilitarismo e do movimento do livre comércio da Inglaterra. No movimento liberal vienense, eruditos de reputação mundial ocuparam posições de liderança. O espírito antimetafísico foi cultivado; lembrem-se Theodor Gomperz, tradutores das obras de Mill (1869-80), Suess, Jodl e outros. Graças a este espírito iluminista, Viena liderou a educação popular cientificamente orientada (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p. 6).

O círculo de Viena objetivava uma concepção científica do mundo, sendo não apenas contra a metafísica, mas antimetafísica (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986), ou seja, desejava abolir por completo a relação entre ciência e metafísica, pois uma visão científica

³ O pensamento metafísico aqui se refere ao uso de explicações que transcendem a física, por exemplo, o uso da cosmologia e de forças divinas para embasamentos teóricos.

do mundo desconhece enigmas que não possam ser resolvidos por meio da experimentação. Os problemas filosóficos tradicionais são compreendidos como pseudoproblemas e passíveis de serem transformados em problemas empíricos podendo ser submetidos ao juízo das ciências lógicas e empíricas (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

A maneira de interpretar o que é válido como sendo científico para o Círculo de Viena tem suas raízes no indutivismo. Para os indutivistas, o conhecimento para ser científico tem de ser provado, as teorias científicas são derivações rigorosas de dados obtidos por observações e experimentos (CHALMERS, 1993). Sendo assim, para o Círculo de Viena o conhecimento científico é passível de verificabilidade, seja ela pela observação ou pela experimentação. A respeito dessa lógica indutivista, Chalmers (1993) chama a atenção para o fato de que a observação não pode vir antes de uma teoria, pois as observações são feitas à luz das teorias, elas se orientam pelas teorias.

O falsificacionismo veio justamente como uma crítica ao indutivismo (LAKATOS, 1998). Karl Popper (1902-1994) foi um dos mais notórios representantes dessa corrente. Popper empreendeu uma série de críticas ao pensamento indutivo, por exemplo, a questão de as hipóteses não serem extraídas dos fatos. Para ele o que deve ser testado não é a possibilidade de verificação de uma hipótese, mas sim a refutação desta, pois uma hipótese ter êxito num teste empírico não a torna verdadeira (LAKATOS, 1998).

Porém, o falsificacionismo, mesmo considerando que a teoria precede a observação, busca teorias verdadeiras por meio da falsificação das mesmas, acreditando desta maneira, que a ciência progride por meio de conjecturas e refutações, ou seja, o falsificacionista está em busca de certezas (CHALMERS, 1993). A delimitação de uma teoria está muito além da possibilidade de ela ser falsificada ou se conferir certeza devido à diversidade de naturezas que a compõem.

Dessa maneira as teorias devem ser compreendidas como estruturas teóricas originadas da história da ciência e constituem um todo estrutural. Esse tipo de perspectiva visa um olhar holístico das teorias, que não são contempladas pelo relato indutivista e nem pelo falsificacionista (CHALMERS, 1993). A epistemologia de Bachelard precede Popper, no entanto, se mostra mais condizente com uma abordagem da ciência atual, pois ele busca elementos históricos em sua construção sobre as ciências e os valores que permeiam a atividade científica.

O conhecimento científico está em contínua transformação, é construindo, criando, produzindo, retificando, que o espírito chega a certas “verdades” (JAPIASSU, 1986), ou seja, aos produtos da ciência, ao conhecimento construído pelo homem para explicar os

fenômenos naturais. Sendo os produtos das ciências construções humanas feitas por pessoas falíveis e passíveis de influência, a opção por um recorte histórico justifica-se pelo fato de que os valores⁴ influenciam a atividade científica, assim como os contextos sociais e políticos. Desse modo, contrariando o pensamento indutivo lógico, é improvável a existência de uma ciência completamente objetiva e neutra, pois

[...] sendo o conhecimento concebido como uma “produção histórica”, a epistemologia visa um processo. A filosofia aí está presente. Mas é a epistemologia que tenta descobrir aquilo que as filosofias dos filósofos teimam em recobrir: os valores ideológicos que intervêm na prática científica (JAPIASSU, 1986, p. 73).

Bachelard em seus escritos apresentava elementos baseados na história da ciência e criticava a busca por objetividade característica do Círculo de Viena. No entanto, é atribuída a Thomas Kuhn (1922-1996) uma espécie de “revolução” na forma de compreender a ciência, lançando mão de uma abordagem historiográfica. Kuhn foi influenciado pelas obras de Bachelard (BIEHL, 2003). Imre Lakatos (1922-1974) também utilizou da história da ciência em seu relato filosófico, ele introduziu uma diferenciação entre o que seria a história interna e a história externa⁵ (LAKATOS, 1998). Kuhn e Lakatos têm aspectos em comum em suas abordagens, mas Kuhn precede Lakatos e este adaptou alguns dos resultados de Kuhn para seus propósitos (CHALMERS, 1993).

A nova visão de ciências “introduzida” por Kuhn é bem descrita na obra *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1962), na qual o autor também destaca o conceito de paradigma. Kuhn apresenta mais de vinte significados para o termo paradigma, sendo um deles como “[...] as realizações científicas universalmente reconhecidas, que durante algum tempo fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (KUHN, 1998, p. 13).

Para Kuhn a ciência “evolui” por meio de revoluções. Quando uma anomalia é considerada dentro de um paradigma, há uma crise e se a anomalia não consegue ser removida há a necessidade de emergir um novo paradigma. “Uma anomalia será considerada particularmente séria se for vista atacando os próprios fundamentos de um paradigma e resistindo, entretanto, persistentemente, às tentativas dos membros de uma comunidade científica normal para removê-la” (CHALMERS, 2013, p. 117).

⁴ Esses valores podem ser entendidos como valores sociais, históricos, políticos e morais.

⁵ A história interna refere-se à história intelectual, enquanto a externa faz referência à história social. Ver em Lakatos, 1998.

Em *A Tensão Essencial* (1977), Kuhn faz apontamentos a respeito da importância da historiografia para as ciências introduzindo, dessa forma, as novas bases para uma nova ciência, a ciência informativa em detrimento da ciência normativa⁶. Para tal, ele aponta a importância dos aspectos históricos e filosóficos na construção de uma nova concepção de ciências.

A ciência normativa buscou a objetividade excluindo a influência dos valores na atividade científica. A este respeito Morin (1996) assegura que atividade científica se assentava em dois fundamentos considerados seguros, que são a objetividade dos enunciados científicos e a objetividade estabelecida pelas verificações empíricas. Era sobre esta base que a escola de Viena alimentava uma aversão pela filosofia e a considerava como um discurso vazio, procurando estabelecer um conhecimento seguro e sólido baseado naqueles dois fundamentos citados acima.

Morin (1996) também diz que a crise dos fundamentos científicos foi um aspecto importante no pensamento contemporâneo. O sonho popperiano de certeza acaba por ruir, a ciência deixa de ser sinônimo de certeza para tornar-se fiabilismo (MORIN, 1996).

2. A Epistemologia de Bachelard

Bachelard foi um dos primeiros filósofos contemporâneos a criticar a imagem tradicional de ciência, ou seja, a visão empírico-indutivista (MELO, 2005). Em suas obras fez referências à importância dos contextos históricos e filosóficos no desenvolvimento da ciência. Antes de Kuhn e Lakatos introduzirem referências a este respeito, Bachelard já o fazia em muitos de seus livros⁷ publicados na década de 1930. Sua epistemologia é interpretada como uma epistemologia histórica e racional. Segundo Martins, Bachelard

[...] não abdica da história da ciência em sua formação, mais do que isso, aprende com o material histórico, buscando nele elementos que ilustram, justificam e alicerçam as principais teses dessa epistemologia. É uma história que vai do passado com os olhos do presente, uma história “julgada” que evidencia o progresso científico a partir das constatações dos erros deste passado (MARTINS, 2004, p. 18).

A visão de progresso na ciência para Bachelard relaciona-se ao progresso do pensamento (JAPIASSU, 1976), diferentemente da visão positivista de progresso⁸. Para o

⁶ A ciência informativa valoriza as condições, os contextos históricos e sociais envolvidos no trabalho científico, em contrapartida a ciência normativa se refere a uma ciência ligada exclusivamente a normas e métodos de experimentação.

⁷ O novo espírito científico; A filosofia do não e a Formação do espírito científico são alguns exemplos.

⁸ Para a corrente positivista o progresso está relacionado aos avanços científicos e tecnológicos.

autor, o progresso do pensamento é capaz de superar os obstáculos sendo o pluralismo filosófico um caminho a seguir nesse empreendimento, por isso Bachelard se propôs a “[...] dar à ciência a filosofia que ela merece” (JAPIASSU, 1976, p. 12).

A epistemologia de Bachelard nega veementemente o empirismo, pois sua construção epistemológica é marcada por ruptura entre a velha e a nova ciência (JAPIASSU, 1976). Sua epistemologia evidencia a descontinuidade, seu pensamento se baseia na importância da retificação do erro, ideia esta presente em grande parte de suas obras dedicadas à ciência⁹. Para Bachelard, a ciência é um processo contínuo de retificação, ou seja,

[...] não é contemplando, mas construindo, criando, produzindo e retificando que o espírito chega à verdade. O conhecimento científico torna-se operativo: é uma operação. A ciência cria seus próprios objetos pela destruição dos objetos de percepção comum, dos conhecimentos imediatos. E é por ser ação que ela é eficaz. Devemos passar por ela para agir sobre o mundo e transformá-lo. E o progresso do espírito científico se faz por rupturas com o senso comum, com as opiniões primeiras ou as pré-noções de nossa filosofia espontânea. A ciência como o homem não é criação da necessidade, mas do desejo. Por outro lado, é intervencionista. Por isso deve ser feita numa comunidade de pesquisa crítica, para não se tornar totalitária (JAPIASSU, 1976, p. 26).

Para Japiassu (1976), a epistemologia da descontinuidade, da ruptura de Bachelard estabeleceu uma nova maneira de compreender a história da ciência, pois ao se recusar a fixar a ciência de maneira definitiva e perenizada, sua epistemologia assume que há dinamicidade no conhecimento científico e evoca historicidade na construção do conhecimento racional. A ideia de ruptura é um traço marcante em sua obra. Dessa forma,

[...] ao situar sua epistemologia histórica e sua história epistemológica sob o signo de uma ruptura descontinuada e metódica, ele não aceita que a ciência possa se instalar nas certezas de suas aquisições, pois ela só pode realmente recolocando incessantemente em questão os princípios de sua própria construção e esquecendo os princípios fundadores. Porque a ciência não evolui, ela reevolui. Não há evolução homogênea ou linear no pensamento científico. Este “evolui” por revoluções, por mudanças bruscas. Não progride por continuidade, mas por descontinuidade (JAPIASSU, 1976, p. 129).

A noção de obstáculos epistemológicos é um traço presente também na epistemologia de Bachelard. Daremos aqui uma breve introdução e discutiremos mais este ponto nas próximas seções. Para Bachelard, quando conhecemos algo, uma série de conflitos, lentidões e estagnações vêm à tona e a isso ele dá o nome de obstáculos epistemológicos, assim “[...] é em termos de obstáculos que o conhecimento científico deve

⁹ A obra de Bachelard se divide em uma vertente científica e outra poética. O homem da ciência diurno e o homem da poesia noturno (JAPIASSU, 1976).

ser colocado” (BACHELARD, 1996, p. 17). Um novo conhecimento vai sempre contra um conhecimento anterior pela superação de obstáculos que são sedimentados na estrutura cognitiva.

Pessanha (1987 *apud* LOPES, 1996) ressalta o continuísmo como marca de nossa tradição filosófica ocidental, no qual tanto a história das diferentes culturas quanto o conhecimento se desenrolaram de forma contínua, os conceitos são somados uns aos outros. Lopes (1996) salienta a existência de um entendimento do conhecimento científico ser uma continuidade com o conhecimento comum, sendo o primeiro um refinamento do segundo. Esse continuísmo acaba por torna-se um obstáculo à compreensão de diversos episódios na história da ciência.

Em *A Epistemologia* (1977, p. 16) Bachelard utiliza a expressão “reino epistemológico novo” para se referir a descobertas que necessitam de novos conceitos mais específicos para serem compreendidas, para tanto ele utiliza o exemplo da determinação de pesos atômicos. Para um espírito positivista, a balança sem dúvida era muito rigorosa e sendo assim bastava. No entanto, no século XX os isótopos são selecionados e pesados, exigindo uma técnica diferente e indireta, o espectrofotômetro de massa, que é um aparelho indispensável para esta medida e se baseia na ação dos campos magnéticos.

Assim, para dar conta de novas descobertas novos aparelhos tiveram de ser construídos. Os aparelhos usuais não serviam a este objetivo, pois os fenômenos elétricos dos átomos estão ocultos, por isso é preciso instrumentá-los num aparelho que não tem significância direta na vida comum. Neste exemplo dado por Bachelard, percebe-se a ideia de descontinuidade, porque para uma nova Física são necessários novos aparelhos para realizarem tipos diferentes de medidas. Remontaremos esta discussão a respeito do descontinuísmo na ciência, nas próximas seções.

Epistemologia Histórica

Ao situarmos a epistemologia de Bachelard como uma epistemologia histórica, devemos compreender que para o autor, quando nos propomos estudar o conhecimento científico como um objeto de análise, é imprescindível levar em conta a historicidade do objeto (JAPIASSU, 1976). Por conta desse viés histórico que sua construção epistemológica é tida como uma epistemologia complexa. Morin (1996) diz que a complexidade de uma epistemologia é muitas vezes reduzida a complicação. Para ele, é o problema da dificuldade de pensar, pois o pensamento é um combate contra a lógica, com e contra as palavras, com e contra os conceitos.

Ainda de acordo com Morin (1996), um dos primeiros filósofos a abordar a questão da complexidade foi Bachelard em sua obra *O Novo Espírito Científico* (1934). Bachelard propõe a construção de uma epistemologia visando à produção dos conhecimentos científicos em seus aspectos lógico, ideológico, histórico, pois para ele as ciências nascem e evoluem em circunstâncias históricas bem determinadas (JAPIASSU, 1986), pois

[...] a historicidade é essencial ao objeto da ciência sobre o qual é estabelecida uma reflexão que podemos chamar de “filosofia das ciências” ou epistemologia. E a história das ciências, não sendo ela própria uma ciência, e não tendo por isso mesmo um objeto científico, é uma das funções principais da epistemologia (JAPIASSU, 1986, p. 31).

Para Lopes (1996), a epistemologia histórica nos faz questionar a possibilidade de definirmos de forma universal o que é Ciência, e quando questionamos nesta perspectiva ela passa a ser um objeto construído socialmente, cujos critérios de cientificidade são coletivos e setoriais às diferentes ciências. Apresentaremos a seguir as noções de progresso do pensamento em Bachelard ao instituir a filosofia do não e os obstáculos epistemológicos.

A Filosofia do Não

A noção de rupturas e descontínuismos é bem explicitada por Bachelard em a “Filosofia do Não”. Esta se baseia na ideia de que o conhecimento científico tem de romper não apenas com o conhecimento comum, mas também com ele mesmo no decorrer do desenvolvimento científico (LOPES, 1996). O descontínuismo não implica em negar conhecimentos anteriores, pelo contrário, ele se refere às limitações do conhecimento, mudanças de uma perspectiva para outra mais adequada a determinado propósito. Por exemplo, a física de Newton deu conta de explicar uma série de fenômenos, mas não pode nos falar a respeito da física quântica, para isso a física relativista de Einstein fornece elementos mais adequados.

Lopes (1996, p. 266) diz que “A física relativista diz não à física newtoniana, a geometria de Lobatchevsky diz não à Geometria Euclidiana, a Química Quântica diz não à Química Lavoisieriana”. Para Bachelard (1991, p. 127):

A filosofia do não, não é uma vontade de negação. Não procede de um espírito de contradição que contradiz sem provas, que levanta sutilezas vagas. Ela não foge sistematicamente às regras. Ela não aceita a contradição interna. Não seja o que for, seja quando for. E a articulação bem definida que ela imprime do movimento indutivo que a caracteriza e que determina uma reorganização do saber numa base alargada.

Por conta da necessidade de retificação do conhecimento científico que Bachelard diz que as intuições devem ser destruídas assim como as imagens primeiras, “[...] o esquema do átomo proposto por Bohr há um quarto de século atuou neste sentido como uma boa imagem: dela já nada resta” (BACHELARD, 1991, p. 131).

É em termos de superação de obstáculos que o conhecimento deve ser retificado, essa ideia é introduzida mais detalhadamente a seguir.

Obstáculos Epistemológicos

O estudo dos obstáculos epistemológicos é apresentado por Bachelard em sua obra *A Formação do Espírito Científico* (1938). Nesse livro, o autor faz uma reconstrução das “fases” pelas quais o pensamento científico se modificou, e introduz os obstáculos epistemológicos propriamente ditos. Para Bachelard é necessário que o espírito científico saia das noções concretas para ideias abstratas como forma de ascender ao conhecimento científico, pois

[...] temos de provar que o pensamento abstrato não é sinônimo de má consciência científica, como parece sugerir a acusação habitual. Será preciso provar que a abstração desobstrui o espírito, que ela o torna mais leve e mais dinâmico (BACHELARD, 1996, p. 8).

Para o autor as abstrações se opõem ao conhecimento concreto, e este por sua vez é carregado de esquemas e esboços primeiros

[...] para mostrar que o processo de abstração não é uniforme, chegaremos até a usar um tom polêmico ao insistir sobre o caráter dos obstáculos que tem toda a experiência que se pretende concreta e imediata (BACHELARD, 1996, p.09).

Bachelard divide o pensamento científico em etapas históricas diferentes. O primeiro é o estado pré-científico, que se inicia na Antiguidade clássica indo para o renascimento nos séculos XVI, XVII e XVIII. O segundo período é chamado de estado científico que tem início no final do século XVIII ao séc. XIX e início do séc. XX. O estado do novo espírito científico se inicia em 1905, com a teoria da Relatividade de Einstein, em que conceitos tidos como primordiais e imutáveis são abalados, abstrações mais audaciosas são necessárias para compreender esse novo estado de pensamento.

Assim com o surgimento do novo espírito científico “[...] é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento deve ser colocado” (BACHELARD, 1996, p. 17), justamente por acreditar que o conhecimento é uma construção de erros retificados que o

autor acredita que a experiência que não retifica nenhum erro, e é sempre verdadeira e não é discutida, de nada serve.

A discussão dos obstáculos epistemológicos em Bachelard não se refere à dificuldade do que se quer conhecer ou do que será ensinado, a isso ele chama de *obstáculos externos*, os obstáculos epistemológicos configuram a complexidade intrínseca de um fenômeno assim como certas dificuldades cognitivas dos indivíduos. Para o autor os obstáculos estão no ato de conhecer, “[...] é no âmago do próprio ato de conhecer que aparece uma série de lentidões e conflitos” (BACHELARD, 1996, p. 17).

O ato de conhecer traz consigo uma série de impeditivos e preconceitos, pois “[...] quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem, aliás, é bem velho, pois tem a idade de seus preconceitos, acender a ciência é rejuvenescer espiritualmente” (BACHELARD, 1996, p. 18). Para o autor, rejuvenescer é aceitar que existem mudanças e contradições no decorrer da história do desenvolvimento científico, assim como erros que devem ser retificados, pois quando se estabelece a existência de uma ciência provisória, os avanços científicos são facilmente compreendidos.

Os obstáculos epistemológicos têm origem na ideia de verdades absolutas

[...] eles se incrustam no conhecimento não questionado. Hábitos intelectuais que foram úteis e sadios podem, com o tempo, entravar a pesquisa. Bergson diz com justeza: “Nosso espírito tem a tendência irresistível de considerar mais clara a ideia que costuma utilizar com frequência”. A ideia ganha assim uma clareza intrínseca abusiva. Com o uso as ideias se valorizam indevidamente (BACHELARD, 1996, p. 19).

Podemos justificar a fala de Bachelard usando como exemplo o conceito de adaptação para evolução biológica. A adaptação é um conceito imprescindível para a compreensão de como ocorre à evolução biológica, entretanto, o uso corriqueiro e simplificado dessa palavra muitas vezes dispensa a contextualização do que ela representa no processo evolutivo. Sendo assim, é em termos de obstáculos que este artigo propõe discutir como o conhecimento não questionado e precipitado ganha força no decorrer da história, distorcendo a compreensão de conceitos fundamentais, como o de adaptação das espécies. “A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação” (BACHELARD, 1996, p. 21).

Em a Formação do Espírito Científico, Bachelard apresenta nove tipos de obstáculos epistemológicos. Para nossa discussão apresentaremos três destes obstáculos que são respectivamente: o obstáculo da experiência primeira, o obstáculo geral e o obstáculo verbal.

Obstáculo da Experiência Primeira

A primeira experiência é geralmente ingênua e traz um fascínio, pois parece ser de fácil compreensão. Para Bachelard (1996), ela é sempre um obstáculo inicial a ser enfrentado. “Essa observação primeira se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado. Parece que compreendemos” (BACHELARD, 1996, p. 25).

O perigo da experiência primeira está no fato de ela ser acrítica. Se o conceito que se quer aprender for visto carregado de artifícios que poderiam auxiliar na compreensão, como o excesso de metáforas, imagens e esquemas ilustrativos, o efeito pode ser contrário, pois o fascínio que tais recursos quando utilizados em demasia geram, pode enterrar o avanço de determinados conhecimentos.

O fato de oferecer uma satisfação imediata à curiosidade, de multiplicar as ocasiões de curiosidade, em vez de benefício pode tornar-se obstáculo para a cultura científica. Substitui-se o conhecimento pela admiração, as ideias pelas imagens (BACHELARD, 1996, p. 36).

Para o autor, o primeiro contato tem de ser seguido por um segundo contato que irá confrontar a primeira experiência, ou seja, o primeiro mobiliza o pensamento e o segundo o coloca em xeque com as bases que lhe deram origem.

Obstáculo do Conhecimento Geral

O conhecimento geral seria o passo seguinte à primeira experiência. Depois do fascínio trazido pelas metáforas e imagens, o espírito ingênuo segundo Bachelard, que acredita ter compreendido um fato, por exemplo, irá transpor uma situação a todas as situações que lhe parecerem semelhante. “O conceito científico correspondente a um fenômeno particular é o agrupamento das aproximações sucessivas bem ordenadas” (BACHELARD, 1996, p. 76).

Também a esse respeito Bachelard (1996) utiliza exemplos de leis que são muito gerais e, segundo o autor, bloqueiam ideias

[...] como foi dito tantas vezes, essas leis gerais definem palavras e não as coisas; a lei geral do crescimento e morte dos seres vivos define a palavra *vida* como uma espécie de pleonasma. Então tudo fica claro; tudo fica identificado (BACHELARD, 1996, p. 71).

Leis que parecem ser muito claras estancam o pensamento, pois as generalizações são atraentes e satisfazem os espíritos mais apressados. “A conceptualização científica

precisa de uma série de conceitos em via de aperfeiçoamento para chegar à dinâmica que pretendemos, para formar um eixo de pensamentos inventivos” (BACHELARD, 1996, p. 71). Um conhecimento que é apresentando sem as condições que lhe deram origem, ou seja, sem contextualização, no qual certas noções que parecem ser de fácil compreensão são aplicadas de maneira generalizada, e sem questionamento, não pode ser entendido como conhecimento científico, ele é no máximo um conhecimento vago (BACHELARD, 1996).

O Obstáculo Verbal

O obstáculo verbal tem origem na ideia de que certas palavras são autoexplicativas, sendo assim não há o que questionar, pois é óbvio o que ela representa. Bachelard diz que este é um dos obstáculos mais difíceis de superar, porque é apoiado numa filosofia fácil.

Bachelard (1996) utiliza o exemplo da palavra *esponja* para abordar esse obstáculo, pois ela permite expressar uma variedade de sentidos,

[...] nos fenômenos designados pela palavra esponja, o espírito não está sendo iludido por um potencial substancial. A função da esponja é de uma evidência clara e distinta, a tal ponto que não se sente necessidade de explicá-la (BACHELARD, 1996, p. 91).

Para falar a respeito da palavra esponja, o autor cita diversos exemplos ao longo da história, no qual a palavra foi utilizada em sentidos variados designando os mais diversos fenômenos físicos, químicos e biológicos. Um exemplo está no excerto abaixo, no qual algumas considerações a respeito do comportamento das cargas elétricas da água são analisadas

A matéria comum é uma espécie de esponja para o fluido elétrico; a esponja não absorveria água se as partes da água não fossem menores que os poros de uma esponja; só a absorveria muito devagar, se não houvesse uma mútua atração entre suas partes e as partes da esponja; esta ficaria embebida mais depressa se a atração recíproca entre as partes da água não formasse um obstáculo, pelo que deve existir alguma força empregada para separá-las; enfim, a absorção seria muito rápida se, em vez de atração, houvesse entre as partes da água uma mútua repulsão que concorresse com a atração da esponja. É exatamente o caso em que encontram a matéria elétrica e a matéria comum (BACHELARD, 1996, p. 94).

Mostramos aqui o conceito de obstáculos epistemológicos e apresentamos alguns dos obstáculos utilizados em nossa argumentação, pois os obstáculos apresentados estão intimamente relacionados com o desenvolvimento do pensamento científico, e as mudanças pelas quais ele passou. Esses obstáculos configuram atitudes que levam a regressão do espírito científico.

Nas próximas seções, apresentaremos as mudanças ocorridas no que se refere ao conceito de mudança e adaptação das espécies. Essas noções foram sendo substituídas e modificadas pelas construções de cientistas ao longo dos anos, e por contribuições de áreas do conhecimento como a genética, a etologia, entre outras. A epistemologia de Bachelard é evidenciada no decorrer dos episódios históricos marcados por rupturas e mudanças no pensamento científico.

3. Do Fixismo às Noções de Mudanças nos Organismos: a construção histórica do conceito de adaptação biológica.

‘O mundo como existe, sempre existiu, e nada mais é do que o reflexo da obra do criador.’ Esta frase traduz a essência da concepção de um mundo no qual a ideia de mudança não cabe. Mayr (2009) apresenta uma classificação do pensamento a respeito da história do mundo na visão fixista, em duas categorias, uma concebe *o mundo de duração infinita* e a outra, *o mundo constante de curta duração*. A primeira se refere à concepção de Aristóteles, assim como outros filósofos de sua época que acreditavam em um mundo eterno que nunca havia mudado e tudo o que nele existe, sempre existiu. A segunda concepção traduz a visão cristã, como apresentado na Bíblia e, de acordo com Mayr (2009), predominou no mundo ocidental desde a Idade Média.

As duas concepções de mundo apresentadas diferem a respeito do tempo de existência da Terra, mas apresentam um aspecto em comum, a crença da fixidez de tudo o que existe no mundo. O que chamamos de fixismo é exatamente isso, a impossibilidade de mudança, visão que predominou durante muitos séculos. A respeito dessa visão, Meyer e El Hani (2005, p. 17) indicam que:

[...] de acordo com a visão de mundo fixista, os seres vivos podem ser ordenados numa grande cadeia, que se estende das coisas mais primitivas às mais avançadas, sendo encabeçada, entre as coisas naturais, pela espécie humana. Os elementos desta cadeia de seres vivos não estariam conectados entre si por elos de parentesco, a ordem atribuída a eles seria simplesmente reflexo da obra de Deus, que teria criado uma gama de espécies, indo desde as mais simples até as mais complexas. Essa visão de mundo também supõe que os seres vivos e cada uma de suas partes foram planejados pelo Criador para cumprir uma determinada função na natureza, contribuindo para a harmonia desta.

Dentre os naturalistas que defendiam a visão fixista do mundo, Georges Cuvier (1769-1832) foi um dos nomes mais importantes do pensamento biológico (FELIPE; FARIA, 2010). Cuvier acreditava que a Terra teria passado por grandes catástrofes e que as mesmas teriam destruído espécies existentes e outras novas espécies teriam sido criadas por

Deus (MARTINS; BAPTISTA, 2007). Essa visão catastrofista¹⁰ de Cuvier foi criticada por alguns naturalistas em sua época e, embora diferisse em certos aspectos da visão de Linné, ambos acreditavam que o surgimento de novas espécies só ocorreria por intervenção divina (MARTINS; BAPTISTA, 2007).

Cuvier trabalhou com a anatomia comparada e desenvolveu leis de metodologia autocomparativas que são utilizadas até hoje. Estas leis se baseiam em princípios de organização e limitam as possibilidades de alteração das partes de um organismo (FELIPE; FARIA, 2010). Os mesmos autores apontam que, para Cuvier, as interações entre os seres e o ambiente limitavam-se à troca de substâncias, que ocorriam por predação e herbivoria, pouco importando a existência de outras interações ecológicas.

Para Caponi (2008), a despreocupação de Cuvier com as relações ecológicas foi devida à sua falta de preocupação com o meio ambiente. Felipe e Faria (2010) utilizam o conceito de *revolução epistemológica* ao citar a importância dada às influências ambientais, assim como a noção de mudança nos organismos que viriam à tona posteriormente.

Uma análise deste contexto baseada na epistemologia de Bachelard sugere uma ruptura entre a visão clássica de mundo baseado nas ideologias cristãs para uma visão mais “científica” do ponto de vista empírico. Neste episódio, uma noção de mundo fixista deu lugar a uma visão na qual a mudança passa a ser considerada. O conhecimento com bases científicas rompe com o conhecimento comum, mas isso não ocorre de forma abrupta como as mudanças de paradigmas apresentadas por Kuhn. Uma ruptura completa só viria acontecer em 1859 com a publicação de *A Origem das Espécies*. O obstáculo epistemológico da *experiência primeira* também pode ser evidenciado na compreensão fixista dos organismos, visto que não há um confronto entre as primeiras ideias e a retificação dessas ideias para uma visão mais científica. Dessa forma, o empirismo é predominante na visão de mundo fixista.

É creditado a Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet de Lamarck (1744-1829), um dos naturalistas mais lembrados juntamente com Charles Darwin (1809-1882), a ruptura com a visão fixista do mundo, até então defendida por naturalistas como Cuvier. As noções evolutivas de modificações nos seres vivos ao longo das gerações de Lamarck e Darwin se assemelham e divergem em uma série de aspectos (FREZZATI JR, 2011), entre os quais se

¹⁰ Os adeptos do catastrofismo acreditavam na ocorrência de fenômenos catastróficos pelos quais a Terra havia passado que resultaram nas configurações geológicas e biológicas atuais.

destacam os mecanismos responsáveis pelas variações e adaptações nas espécies e nos indivíduos, no entanto, ambos aceitam a herança dos caracteres adquiridos.

Lamarck deu início aos seus estudos com o objetivo de investigar se realmente as espécies possuíam uma constância absoluta, noção esta que ele rejeitava (MARTINS, 2007). Em suas observações ele constatou que indivíduos da mesma espécie, vivendo em condições diferentes, apresentavam diferenças, as quais ele chamou de *variedades distintas*, (MARTINS, 2007). Assim

[...] a espécie permanecerá a mesma enquanto a ordem de circunstâncias for a mesma; e quando os indivíduos de uma mesma espécie são forçados a viver em uma ordem diferente das circunstâncias, esses indivíduos desde então formarão uma variedade, ou seja, apresentarão diferenças que distingui-los-á mais ou menos da espécie da qual provieram; e que essa variedade conservar-se-á como espécie enquanto os indivíduos que fazem parte dela permanecerem nas mesmas circunstâncias, e produzirá outras variedades se uma causa análoga à que a formou vier a agir sobre esses indivíduos ou sobre alguns deles (MARTINS, 2007, p. 186).

O conceito de variação em Lamarck é condicionado por fatores externos, como as mudanças climáticas e geológicas que ocorreram na Terra. No entanto, seguindo uma visão uniformitarista¹¹, Lamarck considerava que tais mudanças eram apenas locais, ou seja, em determinadas regiões, porém tais mudanças levariam os corpos vivos a adquirirem novos hábitos, os quais por sua vez levam à modificação de partes do corpo ou órgãos e no decorrer do tempo à formação de novas espécies (MARTINS, 2007).

Quando um organismo é exposto a condições climáticas diferentes, por exemplo, tais circunstâncias favorecem modificações para seu novo estilo de vida. Para explicitar como tais variações ocorrem, Lamarck formulou quatro leis: os seres vivos tendem ao aumento na complexidade; o ambiente influencia mudanças nos órgãos dos animais; herança de características adquiridas e o uso e desuso de estruturas (SILVA; ANDRADE; CALDEIRA, 2014). O aumento de complexidade é atribuído a movimentos orgânicos

A vida pelas suas próprias forças tende continuamente a aumentar o volume de todo o corpo que a possuir, e a estender as dimensões de suas partes, até um limite que lhe é próprio (LAMARCK, 1835-1845 *apud* MARTINS, 2007, p.196).

Para Lamarck era inerente à vida o poder que tende a aumentar a complexidade dos organismos, poder este que resulta dos movimentos orgânicos dos fluidos que poderia desenvolver e aperfeiçoar os órgãos (MARTINS, 2007). A respeito da segunda lei, Martins

¹¹ O uniformitarismo defende que os diferentes aspectos geológicos podem ser interpretados segundo processos naturais semelhantes aos que se observam atualmente e que as mudanças observadas no globo ocorrem de forma gradual.

(2007) argumenta que Lamarck tentou fundamentar a segunda lei apoiando-se na terceira que se refere à herança dos caracteres adquiridos, pois

[...] não é a forma, quer do corpo ou as suas partes, o que conduz aos hábitos de vida e de maneira dos animais, mas, pelo contrário, hábitos, estilos de vida, e todas as outras circunstâncias influentes, ao longo do tempo, que vão constituir a forma do corpo e partes dos animais. Com as novas formas, novas faculdades adquiridas, e, gradualmente, a natureza orientou a formação dos animais tal como vemos hoje (LAMARCK, 1994, p. 237, **tradução nossa**).¹²

De fato a segunda lei aponta elementos que a tornam dependentes da terceira lei, a do uso e desuso, pois as variações ambientais exerceriam pressões às quais os organismos responderiam desenvolvendo ou não modificações em suas estruturas físicas obedecendo a certos limites.

Em todo animal que não ultrapassou o limite de seus desenvolvimentos, o emprego frequente de um órgão qualquer, se mantido, fortifica pouco a pouco esse órgão, desenvolvendo-o, aumenta-o e lhe dá um poder proporcional à duração desse emprego, enquanto que a falta constante de uso de tal órgão o enfraquece sensivelmente, deteriora-o e diminui progressivamente suas faculdades, acabando por fazê-lo desaparecer (LAMARCK, 1809 *apud* MARTINS, 2007, p.200).

A herança de caracteres adquiridos, muitas vezes atribuída a Lamarck, era uma ideia comum em sua época (CEZARE; ANDRADE, 2015). Em *Recherches sur l'organisation des cops vivants*, Lamarck faz algumas considerações a respeito dessa lei:

Ora, cada mudança adquirida em um órgão por um hábito suficiente para tê-la operado, conserva-se pela geração, se é comum aos indivíduos que concorrem juntos na fecundação para a reprodução de sua espécie que se sucedem e que são submetidos às mesmas circunstâncias, sem que eles tenham sido obrigados a adquiri-los pela via que realmente as criou (LAMARCK, 1986 *apud* MARTINS, 2007, p.202).

Ao apresentamos neste tópico o conceito de mudança em Lamarck, embora o naturalista vivesse em uma época em que a noção fixista das espécies era bastante aceita, este rompe com esta visão e introduz um dinamismo nas espécies. Entretanto, cabe salientar que esse dinamismo estava baseado em agentes externos, os quais provocam mudanças internas e na composição dos organismos.

Bachelard diria que o conceito de mudança diz não ao fixismo, pois dele nada se pode salvar, é uma mudança radical em termos científicos, embora a população em geral mantivesse ainda a crença na divindade da criação. No que se refere aos agentes externos, que para Lamarck eram os propulsores de variações, podemos neste contexto exemplificar

¹² Reedição da obra de 1830.

os efeitos do obstáculo do *conhecimento geral*, pois ele aplicou as leis de mudança a todos os organismos vivos de maneira geral. O papel do acaso nas modificações só viria a ser considerado na obra de Darwin.

A obra de Darwin *A Origem das Espécies* foi lançada em 4 de novembro de 1859. Nos anos que se passaram outras diversas edições foram publicadas. Leakey, autor da introdução de *A Origem das Espécies Ilustrada* (DARWIN, 1982, p. 9), diz que “O próprio Charles Darwin fez notar que cerca de vinte pessoas antes dele haviam escrito sobre aspectos da evolução. Porém é de Darwin que deriva a moderna teoria da evolução”. Alfred Russel Wallace (1823-1913) e Darwin chegaram de maneira independente à concepção de seleção natural (CARMO; MARTINS, 2006).

Carmo e Martins (2006) citam artigos publicados pelos dois naturalistas em 1858, mostrando que ambos fizeram referência à luta pela existência na natureza, no qual os indivíduos melhores adaptados sobrevivem e deixam descendentes, enquanto que o menos adaptados devem sucumbir e sua variedade entrar em extinção (CARMO; MARTINS, 2006). Houve também pontos nos quais os dois naturalistas discordavam, como as leis de variação da herança e suas relações com a seleção natural (CARMO; MARTINS, 2006). Caponni (2011) considera que Wallace e Poulton desenvolveram sistematicamente o adaptacionismo.

O uso do termo adaptação é conhecido desde o início do século XVII. Em princípio o termo não possuía relação com a biologia, sendo utilizado para indicar uma relação entre design e função ou como algo que se encaixa em outra coisa (RAFFERTY, 2011). Em Caponni (2011) é apresentada uma discussão a respeito do uso do termo adaptação em biologia. Para o autor, o primeiro a apresentar a adaptação em termos biológicos foi Darwin, no entanto, a consolidação do que viria a ser a adaptação se deu com o estabelecimento da Ecologia.

Em *A Origem das Espécies*, Darwin não estava preocupado em explicar a adaptação mas sim as relações entre os organismos, devido a isso Caponni (2011) cita que a adaptação faria parte da segunda agenda de Darwin. O mesmo autor nega que havia algo semelhante ao conceito de adaptação antes de Darwin, seja por Cuvier ou Lamarck. Em Darwin a adaptação é compreendida como um produto da seleção natural no qual a relação entre organismos e ambiente é fundamental. O estudo das adaptações implicava uma atenção ao ambiente biológico que antes de 1859 não havia no trabalho dos teólogos ingleses e nem dos naturalistas pré-darwinistas (CAPONNI, 2011).

Nos trabalhos de Lamarck ele se refere ao organismo ajustando sua forma ao ambiente, no entanto, antes de Darwin, ninguém havia entendido o ambiente como um lugar composto de adversidades, que pressionava a estrutura das populações, no qual os portadores de variações desfavoráveis eram eliminados e os que apresentavam variações que lhes davam oportunidades de sobrevivência e reprodução, se favoreciam (CAPONNI, 2011).

Em Darwin, aspectos como a variação e adaptação são explicados por mecanismos que diferem de Lamarck, embora esse até certo ponto tenha se utilizado de concepções muito próximas às de Lamarck para explicar a variação das espécies, como o uso e o desuso.

A mudança dos hábitos produz efeitos hereditários; poderia citar-se, por exemplo, a época de floração das plantas transportadas de um clima para outro. Nos animais, o uso e não uso das partes tem uma influência mais considerável ainda. Assim, proporcionalmente ao resto do esqueleto, os ossos das asas pesam menos e os ossos das coxas pesam mais no canário doméstico que no selvagem. Ora, pode incontestavelmente atribuir-se esta alteração a que o canário doméstico voa menos e marcha mais que o canário selvagem. Podemos ainda citar, como um dos efeitos do uso das partes, o desenvolvimento considerável, transmissível por hereditariedade, das mamas das vacas e das cabras nos países em que há o hábito de ordenhar estes animais, comparativamente ao estado desses órgãos nos outros países (DARWIN, 1961, p. 11)

No entanto, ele admite certa limitação nas modificações dos organismos em resposta ao ambiente:

Os naturalistas assinalam como únicas causas possíveis às variações, as condições exteriores, tais como o clima, a alimentação etc. Pode isto ser verdade, num sentido muito limitado, como nós veremos mais tarde; mas seria absurdo atribuir a simples causas exteriores a conformação do picanço, por exemplo, de que as patas, a cauda, o bico e a língua estão admiravelmente *adaptados* para ir agarrar os insetos debaixo da casca das árvores (DARWIN, 1961, p. 3, **grifo do autor**).

A limitação que Darwin atribui à influência dos fatores ambientais deve-se ao fato de ele ter ficado cinco anos em uma expedição a bordo do navio Beagle, passando por diversos continentes e ilhas. Darwin acreditava que havia nascido para estudar a natureza, sendo assim, tornou-se naturalista, observando constantemente, colecionando e estudando vários fenômenos geológicos e biológicos com os quais se defrontava (MAYR, 1991).

A obra de Thomas Malthus Um Ensaio Sobre o Princípio da População, exerceu influência sobre o pensamento de Darwin, pois ele tratava a respeito da população humana produzir um número maior de descendentes do que normalmente pode-se esperar que sobreviva até a idade reprodutiva (MAYR, 1991). Darwin então fez alusão aos princípios de Malthus, assim como aos princípios políticos do liberalismo econômico aplicando-os de maneira similar aos seres vivos de modo geral (BIZZO, 1991). Ele considerou o fato de que

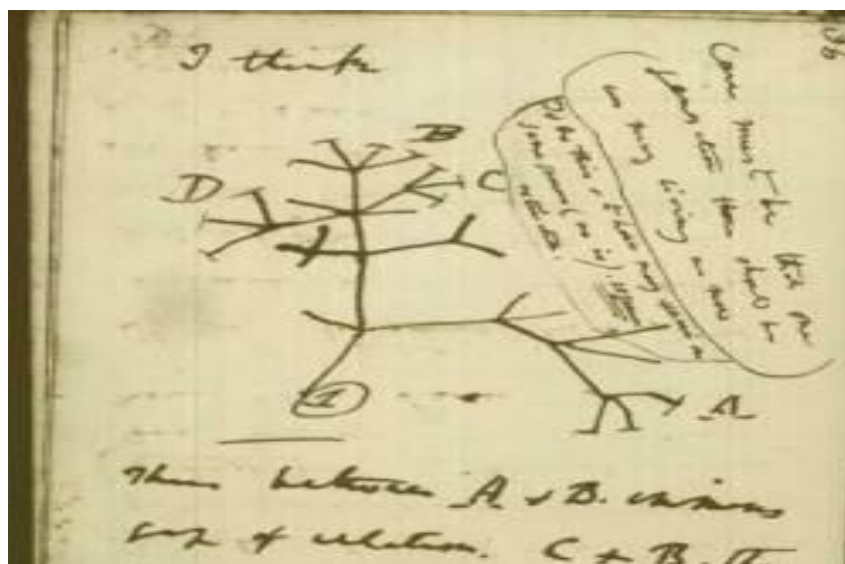
“[...] deveria haver uma seleção entre a prole para resolver quais devem sobreviver e quais perecerão” (DARWIN, 1982, p. 09).

Este é o princípio da Seleção Natural utilizada por Darwin para explicar a ocorrência das variações e adaptações

[...] uma vez que os indivíduos de uma espécie variam entre si os indivíduos com certas características que lhes conferem vantagens para conseguir alimentos ou para escapar dos predadores, por exemplo, terão maior probabilidade de sobrevivência. Dada à variação cujos resultados podem ser observados amplamente, a seleção natural pode explicar a evolução biológica (DARWIN, 1982, p. 10).

Além do princípio da Seleção Natural, Darwin também introduziu a noção de descendência comum. Na Figura 1, presente em *A Origem das Espécies*, Darwin faz um esboço indicando as ramificações de uma árvore evolutiva, na qual a ideia de ancestralidade está presente, com uma população de organismos se ramificando ao longo de gerações. Uma ruptura conceitual pode ser evidenciada nesta explicação de ancestralidade, pois Lamarck não reconhecia as ramificações da árvore darwiniana, para ele havia uma sequência linear. Para Lamarck havia ligeiras mudanças nos organismos ao longo do tempo, no entanto em termos de populações o que havia é uma linearidade ao longo das gerações.

Figura 1 – A árvore de Darwin em suas anotações



Fonte: www.evolucionismo.org.br (2015).

Um fato interessante é que com a Seleção Natural o conceito de adaptação ganha força, pois o ambiente seleciona a variação mais adaptada. Mesmo depois da publicação de

A Origem das Espécies, muitos evolucionistas que negavam a seleção natural, pois considerava a adaptação um processo mais ou menos finalista (MAYR, 2009, p. 180). Entretanto, na explicação de Darwin para a adaptação, não existe nenhuma menção a um fator finalístico. Para Mayr (2009, p. 181)

[...] Darwin propôs uma explicação de adaptação, baseada no pensamento populacional, que resistiu a todos os ataques lançados contra ela. Tratava-se da aplicação da seleção natural ao processo de adaptação. Segundo essa interpretação, um caráter de um organismo é considerado uma adaptação quando, nas variáveis populacionais de seus ancestrais foi preservado por contribuir de forma positiva para a sobrevivência do indivíduo. O processo de eliminação dos indivíduos menos adaptados resulta na sobrevivência dos mais adaptados.

Como citado por Mayr (2009), Darwin não colocou o processo de adaptação como um objetivo a ser alcançado ou a causa final na qual a seleção natural se reduz a um fim. Em termos de obstáculos epistemológicos, a palavra *adaptação* passa a ser um *obstáculo verbal* ao se tornar um termo autoexplicativo, pois remete a se adaptar a alguma coisa. É dessa maneira que compreendemos explicações a respeito da seleção natural com argumentos utilizados por Lamarck no sentido de ajustar-se ao ambiente.

O que ocorre é uma compreensão inadequada, pois para explicar as consequências de um processo (seleção natural) é utilizado um conceito (adaptação) que, em sentido comum, remete a um objetivo. Ao falarmos da síntese moderna, a seguir, retomaremos o exemplo de adaptação como obstáculo verbal.

A Síntese Moderna: elementos novos dão força ao entendimento das adaptações.

Ao formular sua teoria Darwin explicou a evolução pela seleção natural, no entanto, ao tentar explicar a transmissão das características adaptativas, o naturalista recorreu à Teoria da Pangênese (CEZARE; ANDRADE, 2015) como forma de explicar a hereditariedade. Essa explicação foi criticada por Weismann, assim como a herança de caracteres adquiridos, ele se baseou na concepção de plasma germinativo¹³ para negar essa ideia (HAING, 2007). Este poderia ser transmitido de uma geração a outra (MARTINS, 2003). A respeito dos caracteres adquiridos, em princípio, Weismann não os negava, porém após a morte de Darwin mudou sua visão, baseado em alguns resultados obtidos experimentalmente em que cortava caudas de camundongos durante várias gerações, e concluiu que as características adquiridas durante a vida de um indivíduo não podiam ser transmitidas aos descendentes (CHURCHILL, 1968; MARTINS, 2015). Os resultados de

¹³ Uma exposição maior deste assunto, ver em MARTINS (2003).

seus experimentos não foram muito considerados, devido aos resultados dos experimentos de Brown Séquard com porquinhos da Índia, com os resultados favoráveis à herança de caracteres adquiridos (MARTINS, 2010).

Em *A Origem das Espécies*, a questão da hereditariedade é citada muitas vezes por Darwin:

[...] nenhum tratador pôs em dúvida a grande energia das tendências hereditárias; todos têm por axioma fundamental que o semelhante produz o semelhante, e apenas alguns teóricos põem em dúvida o valor deste princípio (DARWIN, 1961, p. 13).

Porém, os mecanismos responsáveis pela hereditariedade ainda permaneciam um mistério. Em outra parte da Europa, mais precisamente da Áustria, Gregor Mendel (1822-1884), um monge agostiniano, trabalhou experimentalmente com o cruzamento de plantas, entre elas ervilhas. Os resultados de seus experimentos com plantas híbridas lhe renderam trabalhos apresentados à Sociedade de História Natural de Brno e se tornou a base da genética atual, o que conhecemos como as Leis de Mendel. De acordo com Futuyma (2009), Darwin nunca soube que Mendel tinha resolvido a questão da hereditariedade em um artigo publicado em 1865, o qual seria amplamente notado em 1900.

Todavia, Bizzo e El Hani (2009) afirmaram que Darwin teve contato com o trabalho de Mendel, no entanto, não utilizou seus resultados. Os motivos pelos quais ele não se apropriou do trabalho de Mendel para dar consistência à sua teoria, são diversos¹⁴, entre eles Bizzo (1991, p. 263) ressaltou que o modelo de Mendel explicou a herança das ervilhas, mas não satisfaz outras exigências essenciais da época. A teoria de Mendel sobre hereditariedade foi redescoberta com Hugo de Vries (1848-1935) e William Bateson (1861-1926) e passou a ser a teoria de hereditariedade aceita a partir da década de 1920 (RIDLEY, 2006). “A síntese da teoria da seleção natural de Darwin com a teoria Mendeliana da hereditariedade estabeleceu o que é conhecido como teoria sintética da evolução ou síntese moderna” (RIDLEY, 2006, p. 38).

Essa conciliação entre os trabalhos de Darwin e Mendel só foi possível graças a uma série de esforços, pois em princípio muitos evolucionistas acreditavam que a teoria de Mendel era incompatível com o princípio da seleção natural, visto que um dos princípios mendelianos dizia que as unidades hereditárias não eram alteradas quando passadas à geração seguinte (ALVAREZ, 2010). Uma conciliação entre as teorias de Darwin e Mendel

¹⁴ Em Bizzo e El Hani (2009) esta questão é delineada com mais detalhes.

foi possível graças aos trabalhos de Ronald A. Fisher (1890-1962) e John B. S. Haldane (1892-1964), na Inglaterra, e Sewall Wright (1889-1988), nos Estados Unidos. Estes pesquisadores desenvolveram uma teoria matemática de genética de populações, mostrando que a mutação e a seleção natural juntas levavam à evolução adaptativa: “A mutação não é uma alternativa à seleção natural, mas sim sua matéria-prima” (FUTUYMA, 2009, p. 9).

O importante é termos em mente que a genética não nasceu em consequência da necessidade de embasar as explicações de Darwin. Nesse sentido o descontínuismo pode ser evidenciado pela junção de uma área de pesquisa a outra que possibilitou explicações mais consistentes a respeito da adaptação. Até então, não se tinha ideia dos fatores internos aos organismos, somente com a conciliação dos trabalhos de Darwin e Mendel, isso foi compreendido. A partir daí, pôde-se explicar a adaptação como consequência de um fenômeno de alterações no genoma dos organismos, que geram mudanças que são transmitidas ao nível das populações e não somente dos indivíduos e que são selecionadas pela seleção natural. Mayr (2009) chama atenção para o fato de que a adaptação como uma propriedade do organismo pode ser um traço fisiológico, um comportamento, ou qualquer coisa que tenha sido favorecida pela seleção natural em relação a propriedades alternativas.

Futuyma (2009) faz algumas advertências a respeito de como a adaptação não deve ser compreendida. Para o autor, a ideia de necessidade ou que a adaptação leva à perfeição é um obstáculo a ser superado. Entretanto, alguns obstáculos ainda se encontram presentes neste conceito, pois o termo adaptação apresenta sentidos polissêmicos que podem gerar obstáculos verbais. O dicionário Silveira Bueno (2007) define adaptação como: “*ação de adaptar; acomodação; adequação*”.

O obstáculo do conhecimento geral aqui se encontra no fato de atribuir o conceito de adaptação a qualquer tipo de mudança, ocorrida em uma população ou indivíduo, mesmo que não sejam adaptativas. Bachelard diria que o espírito científico apressado crê ter compreendido a complexidade de um processo, por ter entendido apenas um exemplo e acaba por aplicar este exemplo em diversas situações. As analogias reforçam este obstáculo.

Bachelard também traz uma série de advertências quanto ao uso de metáforas e analogias em demasia, para o autor é necessário constantemente sair do concreto para o abstrato. Para Andrade, Zylbersztajn e Ferrari (2002), Bachelard considera que a utilização excessiva de imagens que se acumulam prejudica a razão, pois seu lado concreto, apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais. Podemos perceber que o filósofo não é contra toda e qualquer utilização de analogias e metáforas, mas sim contra as que podem reforçar concepções da observação empírica, do senso comum, ou

quando elas se tornam cópias fiéis da realidade, impedindo a compreensão do que se pretende ensinar, tornando-se ou reforçando obstáculos epistemológicos (ANDRADE; ZYLBERSZTAJN; FERRARI, 2002).

O quadro 01 apresenta um resumo dos obstáculos epistemológicos envolvidos na compreensão do conceito de adaptação ao longo do tempo.

Quadro 1- Relação entre obstáculos epistemológicos e o conceito de adaptação.

	Obstáculo da experiência primeira	Obstáculos do conhecimento geral	Obstáculo verbal
Visão fixista das espécies.	Concepção de mundo imutável de acordo com uma visão empirista.		
Pensamento de mudança em Lamack		Aplicação das mesmas leis de mudança a todos os seres vivos.	
Noções adaptativas em Darwin.			Adaptação torna-se um termo autoexplicativo remetendo ao um objetivo.
Síntese moderna		Todas as mudanças nos organismos são compreendidas como sendo adaptações.	Polissemia da palavra adaptação.

Fonte: O próprio autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomamos a história do conhecimento científico, discutindo a respeito do significado do termo epistemologia e destacando episódios que são considerados importantes para a história da ciência, tal como o Círculo de Viena e o que ele representou em uma época, no qual o científico tinha sentido restrito. Contudo, Bachelard traz uma epistemologia que vem na contramão desse movimento, mesmo sendo anterior a ele, porém com ideias inovadoras, como a valorização dos contextos históricos da produção do conhecimento científico, analisando estes contextos em sua gênese de maneira crítica, articulando a história e a filosofia.

A importância da historicidade para a ciência é relativamente recente, e contou com o apoio de Kuhn e Lakatos. Kuhn é um dos nomes mais lembrados neste empreendimento devido ao seu conceito de paradigma, no qual ele explica como ocorrem mudanças na ciência, porém Bachelard já fazia um trabalho neste mesmo sentido anos antes.

Partindo dos contextos de produção do conhecimento científico, Bachelard considera as rupturas ocorridas no decorrer da história como uma reorganização do conhecimento. Sendo assim, para ele romper não significa abandonar um conhecimento antigo, pois isto não ocorre repentinamente. O que deve ser evidenciado são os descontínuismos na ciência, as mudanças no pensamento devido a compreensão de novos elementos, que exigem novas atitudes científicas, ou seja, os novos elementos exigem uma reorganização do pensamento.

Sendo o conceito de adaptação um tema gerador de controvérsias, acreditamos que retroceder historicamente na construção do conceito poderia nos dar indícios de quais são os obstáculos no conceito de adaptação. Os “obstáculos epistemológicos” e a “filosofia do não” de Bachelard nos auxiliaram nesta busca, pois as duas abordagens visam uma retomada histórica.

Percebemos nesse empreendimento que a abordagem linear de uma temática, como um acúmulo de fatos historicamente descontextualizados, impossibilita transcender no tempo, compreender que houveram momentos históricos no qual certas noções eram comuns e, para haver mudança de perspectiva, ocorreu uma série de esforços. O conceito de adaptação foi sendo construído em momentos distintos e ganhando cada vez mais consistência, porém isso não aconteceu repentinamente.

Desta análise histórica emergiram quatro momentos distintos pelos quais o conceito de mudança e variação perpassa:

- 1º Visão fixista das espécies em que as diferenças existentes nos organismos eram encaradas como obras divinas. Deus seria a fonte provedora de toda a diversidade existente. O termo adaptação não tem o sentido biológico.
- 2º Mudança direcionada pelo ambiente. Destaca-se aqui a obra de Lamarck, pois este atribuía as modificações nos seres vivos como respostas às modificações ambientais.
- 3º As estruturas são selecionadas. Os estudos de Darwin apontam que há uma luta pela sobrevivência, em que o meio seleciona as características mais favoráveis às diferenças ambientais no qual os animais são expostos, resultando em uma população com adaptações a àquele ambiente. O termo adaptação é interpretado em um sentido biológico. Entretanto Darwin

também aceitava, assim como Lamarck, a herança dos caracteres adquiridos não rompendo totalmente com a visão anterior.

- 4º As diferenças entre os organismos são internas. Com a retomada dos estudos de Mendel e a conciliação destes com os trabalhos de Darwin e Wallace, as adaptações passam a ser compreendidas como diferenças no genoma dos organismos que expressam diferentes tipos de fenótipos e esses são selecionados pelo ambiente. Assim a adaptação é atualmente entendida como “[...] uma característica que aumenta a sobrevivência e a reprodução dos organismos em relação à característica ancestral. A seleção natural é o único mecanismo conhecido capaz de causar a evolução das adaptações” (FUTUYMA, 2009, p. 279).

Os obstáculos que apresentamos foram historicamente superados, entretanto, o conhecimento e a aprendizagem de evolução ainda apresentam esses obstáculos. Nesse sentido, consideramos que a Biologia Evolutiva do Desenvolvimento (Evo-Devo) ao estudar as relações entre evolução e desenvolvimento, limita o poder da seleção natural, pois

[...] o desenvolvimento não é um processo infinitamente plástico, mas um processo muito complexo de produção de forma (morfogênese) a partir de um sistema intrincado de interações celulares e moleculares. A complexidade do sistema de desenvolvimento e a concatenação de suas etapas fazem com que certas inovações morfológicas se tornem impossíveis para determinados organismos. Assim, as mudanças evolutivas são restritas às que “podem ocorrer” como consequência de mudanças no desenvolvimento. (EL-HANI; MEYER, 2009).

A área de estudos da Evo-Devo tem o potencial de contribuir para um entendimento mais completo a respeito das adaptações atribuindo as mudanças evolutivas a uma pluralidade de fatores. Contudo, concluímos que sem os esforços em compreender o desenvolvimento da História da Ciência este projeto perde o sentido, pois a experiência primeira, o conhecimento geral e o obstáculo verbal, que são os obstáculos por nós utilizados, são produtos historicamente construídos.

Nesse sentido, consideramos que esse trabalho poderá orientar a escolha de discussões e atividades para a aprendizagem do conceito de adaptação. No próximo artigo apresentaremos uma discussão relacionada a um caso específico de adaptações, as que possibilitaram a transição de um grupo de animais vertebrados saírem do ambiente aquático para o terrestre, tomaremos o conceito de adaptação como um conceito chave para nossa abordagem.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, M. O Contributo da Genética para a Evolução do Pensamento Evolutivo. **Antropologia Portuguesa**, v. 26, p. 121-135, 2009/2010.

ANDRADE, B. L. de; ZYLBERSZTAJN, A.; FERRARI, N. As Analogias e Metáforas no Ensino de Ciências à Luz da Epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, 2002.

BACHELARD, Gaston. **A epistemologia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.

_____. **A filosofia do não**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. 5. ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

_____. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BIEHL, L.V. **A Ciência ontem, hoje e sempre**. 1º ed. Porto Alegre:Ulbra,2003.

BIZZO, N. Ensino de Evolução e História do Darwinismo. Tese de doutorado. Faculdade de Educação da USP. 1991.

BIZZO, N.; EL- HANI, C. N. O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 235-257, 2009.

CAIRES JR.; F. P.; CEZARE, P. S. L.; ANDRADE, M. A. B. S. Diferencias conceptuales acerca de la evolución biológica en la visión de los alumnos. **Revista Educación en Biología**, v. 18, n. 1, 2015.

CAPONNI, G. Georges Cuvier: un fisiólogo de museo. México (D.F.): Editorial Limusa, 2008. 157 p.

_____. La segunda agenda darwiniana contribución preliminar a una historia del programa adaptacionistas. Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano. 2011.

CARMO, A. V.; MARTINS, L. A. P. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, p. 335-350, 2006.

CEZARE, P. S. L; ANDRADE, M. B. S. de. A história como um valor cognitivo: o panorama teórico da evolução biológica. **Anais do Encontro de História e Filosofia da Biologia**, 2015.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1997.

CHURCHILL, F. B. August Weismann and a break from tradition. **Journal of the History of Biology**. 1. ed., v. 1, 1968.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. Tradução de Joaquim Dá Mesquita Paul. Porto: Lello & Irmão Editores, 1961.

_____. **A origem das espécies**: ilustrada. Condensado e com introdução de Richard E. Leakey. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1982.

EL-HANI,C.N; MEYER,D. A Evolução da Teoria Darwiniana. **ComCiência**.n.107,2009.

EVOLUCIONISMO. Disponível em: <<http://wwwevolucionismo.org.br>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

FARIA, F.; FELIPE A. Georges Cuvier: história natural em tempos pré-darwinianos. **História Ciência Saúde-Manguinhos**. v. 17, n. 4, 2010.

FREZZATTI JR., W. A. A construção da oposição entre Lamarck e Darwin e a vinculação de Nietzsche ao eugenismo. **Scientiae Studia** (USP), v. 9, n. 4, p. 791-820, 2011.

FUTUYMA, D. J. **Evolution**. 2. ed., 2009.

HAHN, H.; NEURATH, O.; CARNAP, R. A concepção científica do mundo – Círculo de Viena. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 5-20, 1986.

HAING, D. Weismann rules! ok? Epigenetics and the Lamarckian Temptation. **Biology and Philosophy**, v. 22, p. 415-428, 2007.

JAPIASSU H. **Introdução ao pensamento epistemológico**. 4. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora, 1986.

_____. **Para ler Bachelard**. Rio de Janeiro: F. Alves, 1976.

_____. **Questões Epistemológicas**. Rio de Janeiro: Imago, 1981.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LAKATOS, I. **A história das ciências e suas reconstruções racionais**. Tradução de Mendes E. Lisboa: Ed. 70, 1998.

LAMARCK, J. B. P. A. M. **Philosophie zoologique**. Paris: Flammarion, 1830.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

MARTINS, A. F. P. **Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo**: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. 2004. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

MARTINS, L. A. P. A herança de caracteres adquiridos nas teorias “evolutivas” do século XIX, duas possibilidades: Lamarck e Darwin. **Anais do Encontro de História e Filosofia da Biologia**, 2015.

_____. **A teoria de progressão dos animais de Lamarck**. Rio de Janeiro: Booklink; São Paulo: FAPESP: GHTC/ Unicamp, 2007.

MARTINS, L. A. P. August Weismann e evolução: os diferentes níveis de seleção. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 1, p. 53-75, 2003.

MARTINS, L. A. P.; BAPTISTA, A.M.H. Lamarck, evolução orgânica e o tempo: algumas considerações. **História e Filosofia da Biologia**, v. 2. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa-Mack Pesquisa; Livraria da Física, 2007.

MARTINS, R. A. August Weismann, Charles Brown-Séguard e a controvérsia sobre herança de caracteres adquiridos no final do século XIX. **Filosofia e História da Biologia**, v. 5, n. 1, p. 141-176, 2010.

MAYR, E. **Animal species and evolution**. The Belknap press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1966.

_____. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. Tradução de Marcelo Leite. São Paulo: Companhia da Letras, 2005.

_____. **O que é evolução**. Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

_____. **One long argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought**, 1991.

MELO, A. C. S. de. **Contribuições da epistemologia histórica de Gaston Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2005.

MEYER, D.; EL HANI, C. N. **Evolução: o sentido da biologia (online)**. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

MORIN, E. **O problema epistemológico da complexidade**. 2. ed. Lisboa: Europa-América, 1996.

RAFFERTY, P. J. **New thinking about evolution**. 1. ed. Britannica Educational Publishing, 2011.

RIDLEY, M. **Evolução**. Tradução de Henrique Ferreira; Luciane Passaglia; Rivo Fisher. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Controvérsias sobre o conceito de adaptação e suas implicações para o ensino de evolução. **Anais do V ENPEC**, p. 1-13, 2006. Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p742.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2015.

SERRA, P. J. M. **Filosofia e ciência**. Coleção: artigos Lusosofia. Covilhã, 2008.

SILVA, P. R. da; ANDRADE, M. B. S. de; CALDEIRA, A. M. Biology teachers' conceptions of the diversity of life and the historical development of evolutionary concepts. **Journal of Biological Education**, v. 49, n. 1, p. 3-21, 2014.

SILVEIRA, B. **Minidicionário da língua portuguesa**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2007.

YAMAZAKI, S. C. As ideias de Gaston Bachelard e de Ludwik Fleck: por uma convergência epistemológica. **Revista Sul-Americana de Filosofia e Educação**, n. 21, p. 117-135, 2013/2014.

CAPÍTULO 2

A TRANSIÇÃO DO *HABITAT* AQUÁTICO PARA O TERRESTRE PELOS VERTEBRADOS SARCOPTERÍGIOS: UMA PROPOSTA DE SELEÇÃO DE CONTEÚDOS BASEADA EM CONCEITOS ESTRUTURANTES

RESUMO

De acordo com Bachelard (1996), os obstáculos epistemológicos se originam no conhecimento não questionado, ganhando força e podendo transformar-se, em obstáculos pedagógicos. No ambiente escolar estes obstáculos são compreendidos como dificuldades que os estudantes apresentam na compreensão de certos conteúdos. Sendo assim, nosso objetivo é utilizar à temática: A transição do *habitat* aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígius, para articular uma relação entre o conceito estruturante adaptação e conceitos auxiliares, contemplando uma abordagem da biologia evolutiva e funcional. Concluímos que a transição do *habitat* aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígius necessita de uma contextualização para ser compreendida, e desta forma minimizar os obstáculos pedagógicos. Uma alternativa é abordar o conteúdo em sala de aula contemplando as duas abordagens da biologia citadas à cima de maneira que uma complemente a outra, dando significado às temáticas ensinadas.

Palavras-chave: Biologia Funcional e Evolutiva. Adaptação. Transição do Habitat Aquático. Conceitos Estruturantes.

ABSTRACT

According to Bachelard (1996), the epistemological obstacles originate in unquestioned knowledge, gaining strength and could become an educational obstacles. In the school setting, these obstacles are understood as the difficulties students have in understanding certain content. Thus, our goal is to use the theme: The transition from the aquatic habitat to the terrestrial by the vertebrates Sarcopterygii to articulate a relationship between the structural concept adaptation and its auxiliary concepts, contemplating an approach to evolutionary and functional biology. We conclude that the transition from aquatic habitat for terrestrial by the vertebrates needs a context to be understood, and thus minimize the educational obstacles. An alternative is to address the content in the classroom covering both biology approaches referred to above so that one complements the other, giving meaning to the subjects taught.

Keywords: Functional and Evolutionary Biology. Adaptation. Occupation of the Terrestrial Environment. Structuring Concepts.

INTRODUÇÃO

No artigo anterior fizemos uma retomada histórica do conceito de adaptação evidenciando rupturas, descontínuismos e obstáculos epistemológicos. As obras de Bachelard, “A filosofia do Não” (1940) e a “Formação do Espírito Científico” (1938), nos conduziram neste empreendimento. Nossa revisão centrou-se no período pré-darwiniano, tendo início em Curvier, passando posteriormente por Lamarck e suas considerações a respeito de mudanças. Ao introduzirmos Darwin discutimos a origem da palavra adaptação e vimos que, com este, o conceito de adaptação ganha sentido biológico. Por fim abordamos a síntese moderna e introduzimos em nossas considerações finais a Biologia do Desenvolvimento (Evo-Devo) que nos possibilita uma discussão ampla no que se refere à adaptação, visto que esta passa a ser compreendida de maneira pluralista, e será abordada no presente artigo.

Iniciamos com uma discussão a respeito do fixismo. As ideias fixistas são bastante antigas, no entanto, esse conceito influenciou as noções de diversos naturalistas, pois parte do princípio de que a obra divina não admite qualquer tipo de intervenção que não viesse de um criador. Aqui tivemos Curvier, no século XVII, como o principal defensor da ideia. Curvier foi um crítico severo de Lamarck. Este, por sua vez, introduziu as primeiras noções que se chocaram com as ideias fixistas. De modo geral, para Lamarck os organismos respondem às mudanças ambientais a que são submetidos, ou seja, a ideia de mudança para Lamarck está baseada em resposta aos fatores externos, como os fatores climáticos.

Após discutirmos mudanças em Lamarck, passamos para um terceiro momento no qual os trabalhos de Charles Darwin ganham notoriedade, pois este traz o conceito de seleção natural, a partir do qual se compreendeu que o ambiente seleciona os indivíduos com as características mais favoráveis que lhes possibilitam enfrentar as adversidades do meio. Aqui a palavra adaptação começa a ser utilizada para se referir às mudanças selecionadas pelo processo de seleção natural.

Posteriormente aos trabalhos de Darwin, passamos por um momento de unificação, no qual as ideias de Darwin e Mendel foram conciliadas em 1920 a 1950 por outros pesquisadores como Fisher, Haldane e Wirth. A seleção natural passou a ser explicada utilizando-se a genética, culminando em uma nova interpretação da teoria darwiniana, a chamada síntese moderna. A adaptação aqui se baseia na ideia de que as mudanças que ocorrem nos indivíduos são internas e o ambiente seleciona as melhores combinações.

A seleção natural “seleciona” indivíduos com características que lhes conferem mais vantagem e, ao longo das gerações, essas vantagens são transmitidas geneticamente aos

descendentes. Este processo será sempre instável, pois como o ambiente muda essas adaptações não são definitivas (FUTUYMA, 2009). O conceito de adaptação biológica é considerado uma das principais ideias presentes no modelo darwinista de evolução dos seres vivos (SEPÚLVEDA; EL HANI, 2006).

Com a análise realizada no artigo anterior emergiram aspectos que podem se caracterizar como obstáculos epistemológicos para a aprendizagem de adaptação:

1° Visão fixista das espécies em que as diferenças existentes nos organismos eram encaradas como obras divinas. Deus seria a fonte provedora de toda a diversidade existente. O termo adaptação não tem o sentido biológico.

2° Mudança direcionada pelo ambiente. Destaca-se aqui a obra de Lamarck, pois este atribuía as modificações nos seres vivos como respostas às modificações ambientais.

3° As estruturas são selecionadas. Os estudos de Darwin apontam que há uma luta pela sobrevivência, em que o meio seleciona as características mais favoráveis às diferenças ambientais no qual os animais são expostos, resultando em uma população com adaptações a àquele ambiente. O termo adaptação é interpretado em um sentido biológico. Entretanto Darwin também aceitava, assim como Lamarck, a herança dos caracteres adquiridos não rompendo totalmente com a visão anterior.

4° As diferenças entre os organismos são internas. Com a retomada dos estudos de Mendel e a conciliação destes com os trabalhos de Darwin e Wallace, as adaptações passam a ser compreendidas como diferenças no genoma dos organismos que expressam diferentes tipos de fenótipos e esses são selecionados pelo ambiente. Assim a adaptação é atualmente entendida como “[...] uma característica que aumenta a sobrevivência e a reprodução dos organismos em relação à característica ancestral. A seleção natural é o único mecanismo conhecido capaz de causar a evolução das adaptações” (FUTUYMA, 2009, p. 279). (Artigo1 da dissertação).

Os pontos que emergiram do primeiro artigo nos indicam que as visões 1 e 2 precisam ser superadas, no entanto, para superar essas visões é necessário que os aspectos elencados em 3 e 4 sejam aprendidos de maneira significativa, principalmente o aspecto 3, pois é a partir dele que o conceito de adaptação ganha força devido ao advento da seleção natural.

No entanto, discussões a respeito do conceito de adaptação têm dividido a comunidade científica, na qual de um lado encontram-se os adaptacionistas e de outro os antiadaptacionistas. Sepúlveda e El Hani (2006) discutem o fato de que após 1920, com a conciliação das teorias Darwinistas e Mendeliana na chamada síntese moderna, colocou-se a seleção natural como a causa primária das mudanças evolutivas dos fenótipos e como a única explicação para as adaptações, visão esta apoiada pelos chamados adaptacionistas.

Os antiadaptacionistas têm Gould e Lewontin como representantes, eles criticam a tendência em se atribuir um poder demasiado à seleção natural, a isso eles chamam de

programa adaptacionista. Este debate envolve uma argumentação complexa¹⁵, que para nosso objetivo não cabe explicitá-la neste artigo, o que queremos é situar o leitor a respeito da existência do debate. No entanto, os autores supracitados argumentam que o programa adaptacionista está enraizado na visão dos estudantes (GOULD; LEWONTIN, 1978). Os livros didáticos tendem a seguir a linha do programa adaptacionista, restringindo o pluralismo atribuído às adaptações (SEPÚLVEDA; EL HANI, 2008).

Mesmo com a crítica ao poder demasiado atribuído à seleção natural no que tange às adaptações, Caponi (2011) salienta que o programa adaptacionista surge como algo óbvio e inevitável em relação à seleção natural, e nos leva a considerar que a maior parte das características orgânicas é de adaptações. Ridley explica que a seleção natural

[...] é o processo pelo qual aquelas formas de organismos de uma *população* que estão mais bem adaptados ao ambiente aumentam em frequência relativamente às formas menos bem-adaptadas, ao longo de uma série de gerações (RIDLEY, 2006, p. 707, **grifo do autor**).

Dependendo da maneira como os professores trabalham disciplinarmente certos traços adaptativos, alguns obstáculos epistemológicos são suscitados, convertendo-se, em sala de aula, em obstáculos pedagógicos. Os obstáculos pedagógicos são dificuldades enfrentadas pelos estudantes na compreensão de certos conteúdos, um exemplo disso está na percepção das adaptações como características que servem para algo, ou seja, que existem, pois apresentam utilidade para quem as possui. Essa visão utilitarista das adaptações pode atuar como um obstáculo pedagógico no ensino dessa temática.

Em *A Origem das Espécies*, uma interpretação utilitarista de traços orgânicos é referida mais como uma dificuldade a ser enfrentada (CAPONI, 2011). Assim, parece que Darwin já havia cogitado a possibilidade de uma interpretação utilitarista das adaptações ser um obstáculo que deve ser vencido na interpretação de seu trabalho. Bachelard em *A Formação do Espírito Científico*, publicada em 1938¹⁶, apresenta o conceito de obstáculos epistemológicos. Estes “surgem” no próprio âmago de conhecer, como lentidões, conflitos e contradições, podendo levar à regressão, estagnação e até mesmo à inércia do conhecimento (BACHELARD, 1996).

Para Bachelard “[...] é impossível anular, de um só golpe, todos os conhecimentos habituais. Diante do real, aquilo que cremos saber com clareza ofusca aquilo que deveríamos

¹⁵ Mais detalhes a respeito da crítica ao programa adaptacionista, ver em Gould e Lewontin (1978). *The spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: a critique of the adaptationist programme*.

¹⁶ Neste trabalho utilizamos a reedição do livro *A Formação do Espírito Científico* de 1996.

saber” (BACHELARD, 1996, p. 18). Como supracitado, os obstáculos epistemológicos podem se converter em obstáculos pedagógicos, no entanto não há um paralelismo entre obstáculos epistemológicos e obstáculos pedagógicos. O primeiro relaciona-se aos obstáculos na formação de uma conduta científica, ou seja, para tornar-se um cientista o espírito científico precisa superar os obstáculos epistemológicos que surgem quando se conhece algo. Os obstáculos epistemológicos não se relacionam a um conteúdo específico, mas sim ao conhecimento de maneira geral.

Já o segundo, os obstáculos pedagógicos, atuam no sentido de compreender porque não se compreende. Segundo Bachelard (1996), os obstáculos pedagógicos podem ser identificados a partir de uma psicanálise do erro, ou seja, na compreensão da origem dos contrapensamentos, das lacunas, nas falhas que aparecem quando cada novo conteúdo é ensinado. No conteúdo de *transição do habitat aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcópterygios* uma noção utilitarista do processo assim como uma visão finalista é impeditiva à compreensão adequada desse conceito tão importante na evolução dos seres vivos.

O objetivo desse artigo é elencar alguns conteúdos para abordar a transição do *habitat* aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcópterygios. Para elencar tais conteúdos utilizaremos o conceito de adaptação como sendo um conceito estruturante na Biologia e faremos uma articulação desse conceito estruturante com conceitos auxiliares, enfatizando um abordagem da biologia evolutiva e funcional.

1. Conceitos estruturantes

A definição de conceitos estruturantes está baseada na eleição de um conceito que transforma o sistema cognitivo dos estudantes, permitindo-os construir novos conhecimentos, organizar o pensamento e transformar seus conhecimentos prévios (GAGLIARDI, 1986). A importância de se eleger conceitos estruturantes nas ciências é devido à grande quantidade de conteúdos que não contribuem para a aprendizagem, pois favorecem apenas a memorização (CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011). Em nosso artigo elegemos o conceito de *adaptação* como um conceito estruturante da Biologia, pois permite a compreensão das mudanças ocorridas nos seres vivos e os seus reflexos na constituição das populações.

Ao utilizarmos o conceito de adaptação como conceito estruturante em nosso artigo, há a necessidade de elencarmos outros conceitos que ajudam a dar significado ao conceito de adaptação, e aqui chamaremos de *conceitos auxiliares*. Estes são alguns dos aspectos

necessários para a abordagem e compreensão da adaptação: explicações genéticas e epigenéticas, irradiações, tempo geológico, entre outros.

Ao utilizarmos a adaptação como um conceito estruturante buscamos compreendê-la, inicialmente, pela explicação de Mayr (1961) sobre o conhecimento biológico. O autor apresenta uma distinção entre o que ele chama de Biologia Funcional e Biologia Evolutiva. A Biologia Funcional concentra seus esforços nas interações e operações entre estruturas e elementos, suas questões iniciam-se com o pronome interrogativo “*como?*” (MAYR, 1961). Por exemplo, como as interações genéticas atuam ao nível das adaptações? Já a Biologia Evolutiva está mais interessada no “*por quê?*” (MAYR, 1961), ou seja, por que um certo grupo de vertebrados que viviam na água conseguiram ocupar o ambiente terrestre? A partir desse tipo de questionamento é possível reconstruir a história evolutiva de uma linhagem, pois tanto aspectos das histórias das espécies como a compreensão de seus sistemas precisam ser englobados em função de se construir uma visão biológica das adaptações.


Mayr (2005) discute a respeito de a Biologia ser uma ciência diferente das outras e levanta a importância da Biologia Histórica: “É indispensável para a explicação de todos os aspectos do mundo vivo que envolve a dimensão de tempo histórico, em outras palavras, tal como agora sabemos, todos os aspectos que lidam com a evolução” (MAYR, 2005, p. 40). Dessa maneira, ao abordarmos o conceito de adaptação é indispensável utilizarmos as evidências históricas (fósseis) para reconstruirmos a história dos seres vivos e assim delinear as mudanças ocorridas ao longo de anos, que se refletem na atualidade a respeito da evolução.

O conceito de adaptação nos permite ainda relacionar a Biologia Funcional com a Biologia Evolutiva. “Se os fenômenos biológicos podem ser analisados e investigados de duas perspectivas diferentes, são incompletas as abordagens escolares que se detiveram na perspectiva funcional, ou apenas na perspectiva evolutiva” (CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011, p. 79). Os mesmos autores pontuam que ao privilegiar apenas uma perspectiva, a memorização de eventos é favorecida.

[...] vários cursos escolares de biologia descrevem a estrutura do ovo de répteis e aves, analisando o funcionamento de estruturas como âmnio, cório e alantoide. Essas explicações funcionais não são suficientes para que o estudante compreenda o assunto, levando-o muitas vezes a recorrer à memorização dos conteúdos, em particular, de um excesso de vocabulário técnico, que tipicamente caracteriza a biologia. Porém uma análise evolutiva da conquista do meio terrestre pelos tetrápodes e a comparação dos ovos desses animais com os de demais grupos vertebrados poderiam dar significância à presença das estruturas encontradas nestes ovos (CARVALHO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011, p. 79).

Ao reconstruirmos a história evolutiva de um grupo, como o que está sendo proposto neste artigo, a Biologia Funcional permeará a Biologia Evolutiva, pois ao abordar as adaptações destacaremos os três tipos de adaptações mais comuns: as anatômicas e morfológicas, as fisiológicas e as comportamentais. Ao fazer a junção entre a Biologia Funcional e a Biologia Evolutiva contribuimos para que o estudante possa ter a dimensão do alcance da Biologia, por isso nossa proposta em selecionar conceitos estruturantes. O Quadro 1 representa a articulação entre a Biologia Evolutiva e a Biologia Funcional, a seta indica que não há uma separação conceitual entre as abordagens.

Quadro 1 – Conceito Estruturante: Adaptações e seus aspectos conceituais

Conceito Estruturante: Adaptações			
Aspectos	Biologia Evolutiva		Biologia Funcional
	Narrativas Históricas: tempo geológico		Adaptações Morfológicas e Anatômicas
	Origem das Adaptações: Genéticas e Epigenéticas		Adaptações Fisiológicas
	Irradiações		Adaptações Comportamentais

Fonte: O próprio autor.

Para Gagliardi (1988), os conceitos estruturantes são uma maneira de reduzir a quantidade de conteúdos ensinados, o que contribui para o desenvolvimento da capacidade dos estudantes, assim consideramos ser um meio de superar os obstáculos epistemológicos. Para desenvolver o conceito estruturante de adaptação aplicando-o a um episódio particular, a transição do *habitat* aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígio, faremos a articulação entre a biologia funcional e a biologia evolutiva, partindo da adaptação como conceito estruturante e utilizando alguns conceitos auxiliares que ajudam na compreensão desse conteúdo.

Nas próximas páginas iremos abordar como se deu essa transição e ao contar esta história que tem como ideia principal a seleção de características adaptativas, utilizaremos outros conceitos que dão sentido aos principais eventos que culminaram neste episódio. Iniciaremos com a noção de tempo geológico, pois é preciso compreender em qual período estão inseridos os acontecimentos que culminaram na transição do ambiente terrestre pelos vertebrados. Após isso introduziremos as irradiações adaptativas que nos ajudarão a entender como os grupos de animais se diversificaram e, na sequência, apresentaremos

aspectos da Biologia Evolutiva do Desenvolvimento (Evo-Devo), assim como dos mecanismos genéticos relacionados às adaptações. Feito isso, iniciaremos a origem dos tetrápodes e as adaptações que possibilitaram a transição para um novo ambiente por esse grupo de vertebrados.

A escolha do conteúdo de adaptações está de acordo com os livros selecionados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015 do Ensino Médio. A temática é abordada em diversos livros como: Amabis; Martho (2015, v. 2); Linhares; Gewandsznadjer (2015, v. 2); Bröckelmann (2015, v. 2). Percebemos que a temática é contemplada no volume dois que se refere ao conteúdo de zoologia.

2. A transição do ambiente terrestre para o ambiente aquático pelos vertebrados Sarcopterígio.

A Diversidade Evolutiva: Explosão do Cambriano

O período cambriano corresponde ao início da era Paleozoica, também conhecida como a era da vida primitiva, pois é marcada pelo possível surgimento da grande maioria dos grupos de organismos existentes (FREEMAN; HERRON, 2009). O termo explosão do cambriano é devido ao “aparecimento” no registro fóssil de uma diversidade de formas de vida que datam praticamente de um mesmo período. A Figura 1 representa uma escala geológica, evidenciando as eras, períodos e épocas e seus tempos de ocorrência.

Os primeiros registros fósseis do aparecimento de certos grupos de animais datam de 565 milhões de anos (FREEMAN; HERRON, 2009). Esses organismos eram pluricelulares e morfologicamente simples como esponjas e celenterados. Nos anos subsequentes outros grupos de animais que correspondem aos filos que conhecemos atualmente como artrópodes, moluscos e cordados também foram encontrados em registros fósseis (FREEMAN; HERRON, 2009). No entanto, existem algumas controvérsias a respeito da simplicidade morfológica dos primeiros organismos do cambriano e se de fato datam deste período.

Condon (2005 apud FREEMAN; HERRON, 2009), apresenta estudos que contestam essa ideia ao apresentar evidências de embriões fossilizados na Fauna de Ediacara¹⁷, com simetria bilateral, ou seja, com uma parte direita e esquerda do corpo definido, e provenientes do pré-cambriano.

¹⁷ Ediacara é o nome de uma região da Austrália onde ocorrem os mais antigos fósseis de metazoários, por isso é considerada uma das faunas mais importantes do mundo para os registros fósseis.

Figura 1 – A Escala de Tempo Geológica e principais eventos

TEMPO GEOLÓGICO					IDADE
EON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EVENTOS IMPORTANTES	MILHÕES DE ANOS
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	Quaternário	Holoceno	Dispersão da espécie humana	0,01
			Pleistoceno	Extinção de muitos mamíferos, aves e plantas; surgimento da espécie humana	1,64
		Terciário	Plioceno	Surgimento dos primeiros homínidos	5,2
			Mioceno	Diversificação de mamíferos. Vários fósseis da Bacia de Taubaté	23,3
			Oligoceno	Surgimento dos primatas	35,4
			Eoceno	Expansão das aves	56,5
			Paleoceno	Irradiação dos mamíferos	65
	MESOZÓICO	Cretáceo	Extinção dos dinossauros, pterossauros e répteis marinhos.	145,6	
		Jurássico	Surgimento dos grandes dinossauros e aves.	208	
		Triássico	Surgimento dos dinossauros e mamíferos; separação da Pangea	245	
	PALEOZÓICO	Permiano	Diversificação dos répteis e extinção de muitos invertebrados marinhos	290	
		Carbonífero	Auge dos anfíbios e explosão de vida na terra.	362,5	
		Devoniano	Diversificação dos peixes e surgimento dos anfíbios e insetos	408,5	
		Siluriano	Invasão das plantas e dos artrópodes no ambiente terrestre	439	
		Ordoviciano	Surgimento dos peixes sem mandíbulas (Agnathas)	510	
Cambriano		Explosão de vida no mar; origem da maioria dos filos de animais	570		
PROTEROZÓICO				Origem dos primeiros seres fotossintetizantes e primeiros invertebrados.	2500
ARQUEOZÓICO				Origem da Terra; primeiros fósseis de procariontes.	4600

Fonte: Freeman, Herron (2009).

O que se sabe atualmente é que cada vez “[...] mais evidências indicam a existência de animais de pequeno porte com simetria bilateral anteriores à explosão do cambriano” (FREEMAN; HERRON, 2009, p. 696). Estes animais podem ter existido desde o pré-cambriano, mas sua fossilização aconteceu posterior a esse período. “A explosão do cambriano é uma explosão de diversidade morfológica, mas não necessariamente uma explosão de linhagens, já que essa ocorria muito antes” (FREEMAN; HERRON, 2009, p. 701), ou seja, linhagens distintas de grupos como de protozoários já existiram no pré-cambriano, no entanto, diferenças quanto à morfologia só vieram a aparecer no período cambriano.

As causas da explosão de diversidade morfológica são atribuídas entre outras coisas ao aumento das concentrações de oxigênio nos mares devido ao aumento da quantidade de algas fotossintéticas no Proteozoico, o que possibilitou a origem da pluricelularidade e do aumento de tamanho dos organismos, visto que o aumento da disponibilidade de oxigênio permite a elevação das taxas metabólicas. Sendo assim, corpos maiores constituem um pré-requisito para a evolução dos tecidos, e taxas metabólicas mais elevadas são necessárias para

o esforço causado pelo movimento (FREEMAN; HERRON, 2009). “Os primórdios dessas características estão registrados nas faunas de Ediacara” (FREEMAN; HERRON, 2009, p.702).

As Irradiações Adaptativas

Uma irradiação adaptativa [...] “significa que um pequeno número de espécies ancestrais de um táxon se diversificou em um número maior de espécies ancestrais, ocupando uma variedade mais ampla de nichos ecológicos” (RIDLEY, 2006, p. 664). A diversificação está relacionada às oportunidades ecológicas, ou seja, quando uma espécie se defronta com uma variedade de recursos para explorar. No entanto, nem todas as irradiações adaptativas estão relacionadas a oportunidades ecológicas, elas podem se relacionar a inovações morfológicas que se tornam importantes adaptações (FREEMAN; HERRON, 2009). Ridley (2006) afirma que a irradiação ocorre em quatro circunstâncias: a colonização de uma nova área, em que não há competidores; extinção dos competidores; substituição de competidores e por barreiras adaptativas. Esta última circunstância caracteriza-se quando um táxon desenvolve uma adaptação nova, que o permite se sobressair em relação a outro táxon, ou caso ele explore um recurso anteriormente inexplorado.

Para compreendermos a importância das adaptações que possibilitaram a transição de um grupo de vertebrados para o ambiente terrestre, se faz necessário entendermos como se desenvolveram essas adaptações. Uma série de mudanças genéticas e epigenéticas como a expressão dos genes Hox e as marcações no DNA pós-transcricionais respectivamente, foram responsáveis por inovações morfológicas que possibilitaram a evolução de características como os membros e a segmentação dos corpos dos animais. Tais mudanças são abordadas pela evolução do desenvolvimento e fazem parte de uma visão pluralista dos mecanismos responsáveis pelas adaptações. Discutiremos mais essa temática no próximo tópico.

O aparecimento dos peixes pulmonados está diretamente relacionado à evolução dos vertebrados terrestres e data do período denominado Siluriano. Antes de iniciarmos as discussões a respeito das adaptações que possibilitaram um grupo de vertebrados a ocuparem o ambiente terrestre, iremos abordar um pouco da genética envolvida nas diferenças morfológicas que possibilitaram a evolução de características essenciais à conquista de um novo ambiente.

Um panorama geral da genética envolvida nos mecanismos adaptativos

As mudanças genéticas responsáveis pelas inovações morfológicas foram sendo desvendadas a partir da década de 1980, com a colaboração de biólogos do

desenvolvimento, sistematas e paleontólogos, criando assim uma área de estudos que visava compreender a genética por trás dos grandes eventos evolutivos. Evo-Devo é a abreviação para a Evolução do Desenvolvimento (CARROLL, 2008).

A Evo-Devo se baseia nos mecanismos regulatórios e sinalizadores que ocorrem no desenvolvimento embrionário. Conforme um embrião se desenvolve, uma série de moléculas sinalizadoras ativa proteínas chamadas fatores de transcrição, que ligam ou desligam certos genes em cada célula de maneiras diferentes, à medida que o desenvolvimento continua essa rede de atividade gênica em cascata se modifica de forma contínua (FREEMAN; HERRON, 2009). Sendo assim,

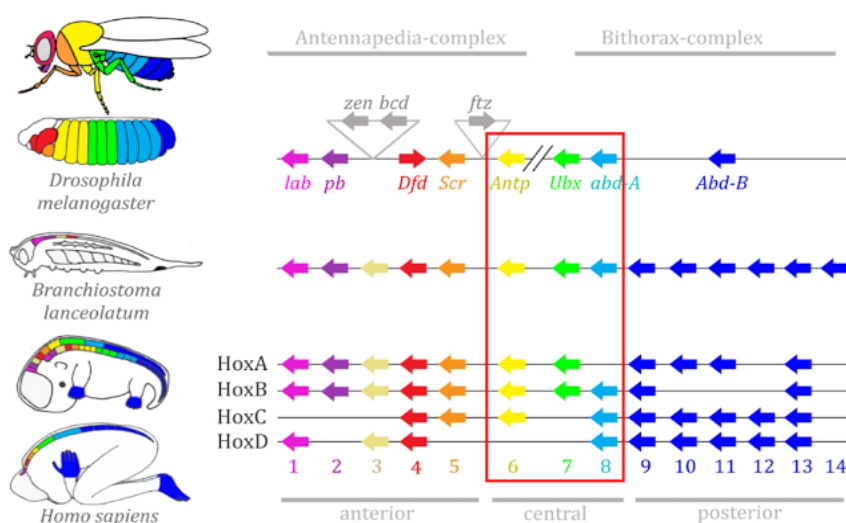
[...] quando uma célula se divide, ela recebe sinais de outras partes do embrião, ou emite seus próprios sinais, novos genes são expressos ou desligados. Em consequência, as células de diferentes partes do embrião começam a expressar diferentes subconjuntos do genoma e a se diferenciar em músculos, tecido vascular, osso, epiderme, cartilagem, reconhecíveis e funcionais (FREEMAN; HERRON, 2009, p. 726).

De acordo Hoekstra e Coyne (2007), cada vez mais evidências empíricas têm apoiado o papel de certos genes nas mudanças regulatórias adaptativas, principalmente na morfologia adaptativa.

Os genes Homeóticos são um grupo de genes que codificam fatores de transcrição envolvidos na padronização axial dos bilaterais. Os padrões destes genes definem a morfogênese dos animais devido à sua elevada conservação nos Metazoários, portanto, considera-se que a diversificação nos planos corporais se deve a alterações evolutivas que envolvem esses genes (FAVIER; DOLLÉ, 1997). Em animais, as sequências homeóticas-chaves são conhecidas como HOM ou genes HOX, conforme são encontrados em vertebrados ou invertebrados, “[...] como os genes HOM ou HOX são semelhantes quanto à sequência de DNA, a organização no cromossomo e função, eles são considerados como homólogos e são referidos conjuntamente como genes HOX” (FREEMAN; HERRON, 2009, p. 728).

Freeman e Herron (2009) citam algumas características dos genes HOX, como: o fato de eles ocorrerem em grupos e estar muito próximos no cromossomo, à medida que há a diversificação dos animais a sequência original desses genes é duplicada; há uma correlação entre a ordem dos genes de 3’ para 5’ e a sua localização anteroposterior no embrião, ou seja, os genes localizados na região 3’ expressam na região da cabeça, enquanto os localizados na região 5’ expressam a parte posterior do corpo do embrião (Figura 2), cada gene do complexo contém 180 pares de bases altamente conservados.

Figura 2 – Localização dos genes HOX em diferentes grupos de organismos



Fonte: www.velleta1.rssing.com/chan-6240839/latest.php (2015)

A semelhança de proteínas a partir de espécies que se parecem, mas se comportam de maneira diferente como os humanos e chimpanzés, ressaltou um aparente paradoxo, e para explicar como espécies tão semelhantes geneticamente diferiam substancialmente em sua anatomia, foi sugerido que a evolução da anatomia ocorreu mais pela alteração da regulação gênica do que pela alteração na sequência de proteínas¹⁸ (CARROLL, 2008). Outra questão também relacionada à regulação gênica se refere ao mecanismo de regulação CIS¹⁹, sendo um mecanismo importante para a evolução dos planos corporais e anatômicos, mas não tão importante para outros tipos de adaptações. Essa explicação ignora grandemente outros tipos de adaptações como as comportamentais, às bioquímicas e as metabólicas (HOEKSTRA; COYNE, 2007). Para as mesmas autoras, a distinção entre a evolução da anatomia e a evolução de outros traços não está biologicamente bem justificada. Segundo as autoras,

[...] certamente não pode ser porque mudanças não anatômicas, não são importantes na evolução. Deve ser o caso de muitas das principais inovações e transições evolutivas que não foram refletidas na forma do corpo. Pense, por exemplo, que a transição da água para a terra envolveu inovações na respiração, comportamento e reprodução. A evolução de novos filós certamente envolve mais do que apenas as alterações no plano corporal documentados no registro fóssil, como se pode ver a partir do exame das adaptações dos filós vivos (HOEKSTRA; COYNE, 2007, p. 997, **tradução nossa**).

¹⁸ Entendemos sequência de proteínas como o conjunto de proteínas relacionadas a um determinado caráter do organismo.

¹⁹ Os elementos que fazem parte na transcrição do mRNA são divididos entre elementos de ação CIS e TRANS. Elementos de ação CIS são todos aqueles presentes na mesma molécula de DNA, podem ser proximais, como as sequências promotoras, acentuadores e silenciadores. Fonte: http://www2.iq.usp.br/docente/nadja/QBQ3401_aula7.pdf.

Os genes HOX tiveram um papel bastante importante na transição de um grupo vertebrados Sarcopterígio do ambiente aquático para a terra firme, pois eles se expressam de maneira distinta para a formação dos membros. Os membros são a característica que identificam a linhagem dos tetrápodes,

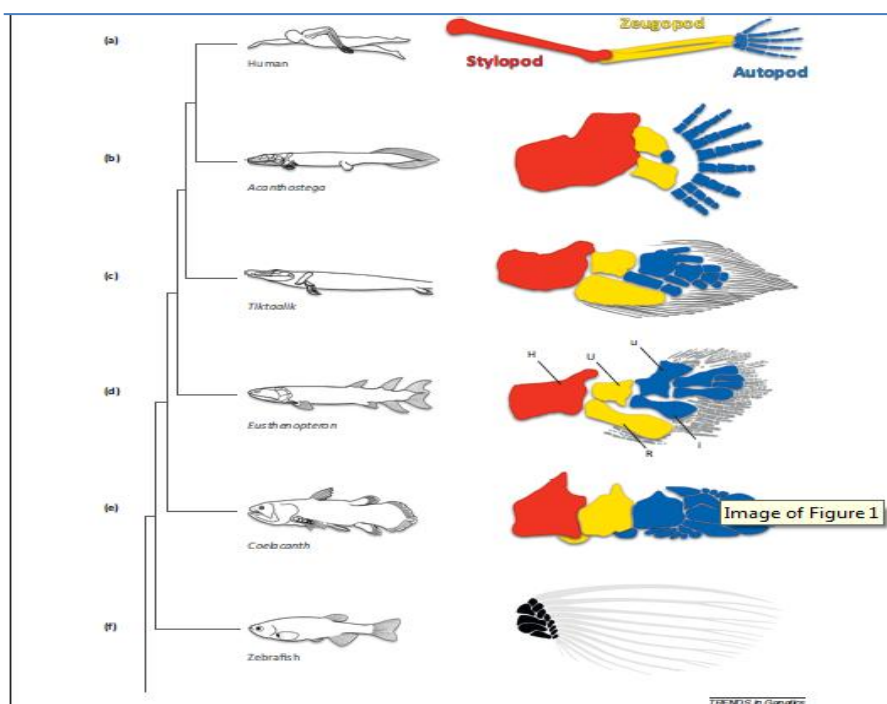
[...] essas estruturas distinguem os tetrápodes primitivos de seus parentes mais próximos, os ancestrais atuais dos peixes pulmonados, permitindo finalmente que os tetrápodes rastejassem para a terra firme. Mais tarde, essa inovação foi modificada em uma enorme variedade de formas e tamanhos, com funções que variavam do escavar até voar (FREEMAN; HERRON, 2009, p. 735).

O papel dos genes HOX na formação de membros deve ser considerado em dois aspectos principais, o primeiro é que os genes homólogos e as vias de desenvolvimento são subjacentes à homologia estrutural dos membros de anfíbios, répteis, aves e mamíferos e o segundo aspecto é que as mudanças no tempo e localização ou o nível de expressão dos genes que formam esses padrões, ou seja, uma série de genes homeóticos poderia ser responsável pelas modificações adaptativas dos membros (FREEMAN; HERRON, 2009).

Os conjuntos diferentes de genes HOX são expressos na forma de três segmentos: o estilopódio (úmero nos membros anteriores e fêmur nos membros superiores), zigopódio (rádio e ulna nos membros anteriores e tíbia e fíbula nos membros posteriores) e autopódio (comprimento dos metatarsos ou metacarpos) (Figura 3). A expressão do gene Hox 13 fornece uma base molecular para uma hipótese a respeito da origem dos membros (SCHNEIDER; SHUBIN, 2013).

Os genes HOX 13 são expressos em todo o autopódio (SCHNEIDER; SHUBIN, 2013), sua inativação traz consequências no desenvolvimento dos dígitos e encurtamento das falanges (CARLSON, 2014), ou seja, esse grupo de genes está diretamente relacionado à adequação dos membros.

Figura 3 – Evolução do esqueleto dos membros de tetrápodes



Fonte: Schneider, Shubin (2013)

A Origem dos Tetrápodes

Os tetrápodes são evolutivamente próximos aos peixes sarcopterígio. Atualmente, existem dois tipos principais de peixes sarcopterígio: os Dipinoi (peixes pulmonados) e os Actinistia (espécies de Celacanto) (ZIMMER, 1999). Daeschler, Shubin e Jenkins Jr (2006) esclarecem que a relação entre os vertebrados terrestres, os peixes pulmonados e a origem das principais características dos tetrápodes, apesar de bem estabelecida atualmente, permaneceu obscura por um bom tempo, por falta de fósseis que documentassem a sequência de mudanças evolutivas. A descoberta no Canadá de um fóssil intermediário o *Tiktaalik roseae*, que data do Devoniano tardio (385-359 milhões de anos atrás), revelou uma série de modificações que possibilitaram a transição para o ambiente terrestre.

Contudo, a maioria das adaptações conhecidas que possibilitaram a transição para a terra se refere à morfologia e à anatomia, pois os fósseis permitem análises bastante conclusivas destes aspectos. No entanto, também devemos considerar algumas suposições a respeito do comportamento, pois esse também é fator considerado adaptativo, embora os fósseis não permitam afirmações conclusivas desse aspecto.

Dentre as adaptações que possibilitaram a ocupação de um novo ambiente pelos vertebrados, destacam-se aquelas relacionadas a modificações anatômicas/ morfológicas. A análise fóssil do *Tiktaalik roseae* (Figura 4), aponta provavelmente que ele e seus ancestrais,

além de possuírem pulmões para respirar o ar atmosférico, também possuíam brânquias. Os seus esqueletos sugerem que eram predadores de águas doce e rasa e ainda que a espécie *Tiktaalik roseae* tinha a habilidade de se autopropelir devido aos seus membros e de caminhar pela superfície plana de seus *habitats* (DAESCHLER *et al.*, 2006).

Figura 4 – Representação do *Tiktaalik roseae* (esquerda) ao lado de um exemplar fóssil (direita)



Fonte: www.jefflewis.net (2015)

As adaptações analisadas neste exemplar intermediário dos tetrápodes incluem remodelações nas proporções do crânio, modificações na região que viriam a se tornar o ouvido médio, membros robustos com dígitos, cintura escapular e da pelve alteradas, costelas expandidas e conexões ósseas entre vértebras desenvolvidas (DAESCHLER *et al.*, 2006).

Um desafio para os vertebrados que passaram evolutivamente do ambiente aquático para o terrestre se refere à gravidade. A gravidade é extremamente importante para os peixes, pois seus corpos têm a mesma densidade da água e são sustentados por ela, dessa maneira o sistema esquelético dos vertebrados deve ser estruturado diferentemente dos peixes, assim como os modos de locomoção que são distintos (REILLY; LAUDER, 1990). Outra modificação se refere às brânquias, e foi refletida em uma modificação na circulação sanguínea,

[...] as brânquias não eram estruturas adequadas para o uso fora da água, pois no ar os filamentos se colapsavam, ressecavam e perdiam a função. Virtualmente todos os peixes de água doce que sobreviveram a este período, incluindo peixes de nadadeiras lobadas e pulmonados, possuíam um tipo de pulmão desenvolvido como um divertículo da faringe. A eficiência desta cavidade preenchida por ar foi aperfeiçoada através do aumento da vascularização através de uma rica rede de capilares e através do suprimento de sangue arterial pelo último par de arcos aórticos. O sangue oxigenado retornava diretamente para o coração através de uma veia pulmonar, formando um circuito pulmonar completo. Surgiu assim a circulação dupla característica de todos os tetrápodes (HICKMAN; ROBERTS; LARSON, 2004, p. 511).

Percebemos que esses grupos de peixes que foram os ancestrais na transição do ambiente terrestre, já apresentavam uma série de adaptações antes mesmo de ocuparem um novo ambiente, assim as *adaptações que eles já possuíam* foram expostas cada vez mais a pressões seletivas de um novo ambiente. Outro desafio enfrentado pelos tetrápodes residia no armazenamento de gordura. De acordo com Pough (2003), o tecido adiposo no qual a gordura é armazenada nos adipócitos é uma característica proeminente de tetrápodes, pois na maioria dos peixes a gordura é armazenada na forma de gotas lipídicas no fígado e nos músculos. No que se refere ao esqueleto, mudanças significativas podem ser notadas

O crânio dos peixes ósseos possui um focinho curto e os movimentos das maxilas fazem com que a água seja sugada para dentro da boca, para a ventilação e alimentação através das brânquias. A alimentação por sucção não é uma opção da terra, pois o ar é menos denso do que as partículas de alimento. Na terra, a cabeça deve se mover sobre a presa e entre os tetrápodes o crânio é bem alongado. Os primeiros tetrápodes possuíam crânios amplos e planos que, provavelmente, estavam associados com o bombeamento bucal para a ventilação dos pulmões (POUGH, 2003, p. 179).

Diferenças na língua também são evidentes, pois enquanto os peixes possuem uma língua pequena e grossa, a dos tetrápodes é grande e musculosa. As glândulas salivares são conhecidas apenas em vertebrados terrestres, devido à necessidade de lubrificação para engolir os alimentos (POUGH, 2003).

No que se refere às aspectos relacionados ao comportamento, Ashley-Ross *et al.* (2013) apontam que um crescente aumento de oxigênio atmosférico no final do Paleozoico, que pode ter acelerado a invasão dos vertebrados para a terra, ou seja, os organismos que possuíam pulmão para respiração de oxigênio atmosférico apresentavam claramente vantagem em relação aos que não possuíam essa adaptação.

Uma das dificuldades enfrentadas pelos primeiros tetrápodes relatadas pelos autores supracitados se refere à alimentação. Este foi em princípio um aspecto desafiador, capturar uma presa não era o problema, mas sim a deglutição do alimento devido à pressão na cavidade bucal (ASHLEY-ROSS *et al.*, 2013). Na água, a densidade da presa e da água são

iguais, então o alimento é forçado para o esôfago juntamente com a água, já no ambiente terrestre a densidade do ar é muito menor que a da presa e a língua não ajuda tanto no movimento do alimento. Sendo assim, a exploração de novas fontes de alimentação levou à seleção de crânios modificados que facilitassem uma nova estratégia alimentar (ASHLEY-ROSS *et al.*, 2013). Pesquisadores acreditam que as modificações nas mandíbulas dos primeiros tetrápodes, surgiram logo no início de sua conquista do ambiente terrestre, logo após a transição do sistema locomotor (ASHLEY-ROSS *et al.*, 2013).

Em relação à reprodução, alguns peixes teleósteos exibem o comportamento de depositar seus ovos na terra. Se considerarmos este comportamento em relação à transição dos primeiros tetrápodes, colocar os ovos fora da água é um comportamento vantajoso, pois na terra as chances de sobrevivência eram maiores devido à falta de predadores (ASHLEY-ROSS *et al.*, 2013).

Os apontamentos trazidos nessa seção a respeito de aspectos adaptativos do comportamento dos primeiros tetrápodes são baseados no que se sabe do comportamento de peixes atualmente viventes e na reconstituição ambiental e climática do Devoniano que será explorada a seguir.

Reconstituindo o ambiente que possibilitou a transição dos vertebrados Sarcopterygios.

Se partirmos da premissa que todo o organismo deve ser funcional ao ambiente em que vive (ZIMMER, 1999), ficará mais fácil compreender esse episódio evolutivo que culminou na transição de um grupo de vertebrados do ambiente aquático para o terrestre.

Organismos que não estão adaptados a seu *habitat*, certamente sucumbirão sem deixar descendentes. Caso certas características selecionadas pelo meio vierem a conferir vantagens adaptativas, os animais que as possuem terão sucesso em detrimento de outros, “[...] há um consenso de que os tetrápodes desenvolveram seus membros na água e, por motivos não totalmente conhecidos, começaram a se arrastar para fora da água” (HICKMAN; ROBERTS; LARSON, 2004, p. 514). De acordo com Pough (2003, p. 199) “[...] o Devoniano foi um período de secas sazonais, poços rasos, formados durante períodos de monções, que geralmente se esvaziavam em períodos de secas, prendendo seus habitantes em pequenos corpos de água estagnada”. Assim, as condições climáticas do Devoniano atuaram em termos de pressão seletiva do ambiente, e para compreender melhor como tal pressão ambiental se traduziu em relação à adaptação dos organismos, algumas teorias foram propostas com o objetivo de reconstruir o cenário que levou ao aparecimento dos primeiros tetrápodes.

Há uma teoria que diz que certos *Sarcopterygii* do Devoniano possuíam nadadeiras que os permitiam rastejar de poços secos, passando pela terra e chegando a locais ainda com água, e que milhões de anos de seleção sobre estes peixes poderiam ter produzido linhagens com esta habilidade cada vez mais aumentada (POUGH, 2003). No entanto, essa teoria foi duramente criticada sob a alegação de que um peixe que rasteja de um ambiente ao outro consegue no máximo sobreviver e isto seria uma maneira em “marcha ré” de evoluir. Outra teoria enfatiza o contraste entre o ambiente aquático e o terrestre no Devoniano

[...] a água estava repleta de uma variedade de peixes que radiaram para uma multiplicidade de nichos ecológicos. Predadores ativos e poderosos e competidores eram abundantes. Em contraste, a terra estava livre de vertebrados. Qualquer *sarcopterygii* que pudesse ocupar situações terrestres teria o ambiente livre de predadores e de competidores à sua disposição. A exploração desse *habitat* pode ser vista a partir de passos graduais (POUGH, 2003, p. 202).

O que deve ficar claro a respeito da transição dos vertebrados do ambiente aquático para o terrestre é que as mudanças adaptativas selecionadas pelo meio em junção com oportunidades ecológicas do ambiente terrestre foram determinantes para a ocorrência deste evento evolutivo. Pensando na evolução de uma maneira dinâmica, devemos compreender também que da mesma forma que houve a conquista do ambiente terrestre, também houve o retorno de organismos da terra para a água. Embora esse não seja o foco de nosso artigo, consideramos importante compreender o dinamismo²⁰ dos eventos evolutivos.

3. As relações entre os conceitos auxiliares e o conceito de adaptação biológica.

Em Biologia a quantidade de conteúdos é uma barreira para a aprendizagem, visto que muitos conteúdos são ensinados aos estudantes sem que sejam estabelecidas relações que os possibilitem aprender de maneira significativa. No entanto, ao elegermos alguns conceitos que contemplem a Biologia Funcional e a Biologia Evolutiva os objetivos de aprendizagem podem ser facilmente alcançados.

Para nós, o conceito de adaptação é um conceito estruturante, assim como o conceito de seleção natural, pois este contempla a história evolutiva das linhagens de organismos e as mudanças estruturais de ordem genética e molecular. Contudo, ao desenvolvermos um conceito estruturante, necessitamos de conceitos auxiliares que nos possibilitam contar uma história na qual uma série de aspectos são explorados em seus mais diversos âmbitos.

²⁰ O retorno dos organismos terrestres à água é abordado de maneira bastante interessante por Zimmer (1999).

O tempo geológico é algo imprescindível à compreensão de eventos evolutivos, devido ao fato de que as mudanças que sucedem nos organismos necessitam de tempo para ocorrer e serem fixadas em uma população. O professor ao explorar a noção de tempo em suas aulas, mostra aos estudantes que a terra é muito antiga e já passou por diversas mudanças até chegarmos às configurações atuais. Assim acreditamos que o conceito de tempo geológico deve estar presente em atividades que tenham adaptação biológica como foco.

A noção de irradiação adaptativa é algo não muito claro para os estudantes e que necessita do conceito de tempo para ser compreendida, pois a diversificação das espécies ancestrais em um número maior de espécies envolve uma série de eventos, nos quais a genética está altamente relacionada.

A relação entre a evolução e os mecanismos genéticos está bem estabelecida com a Síntese Moderna, assim diversas mudanças adaptativas estão relacionadas a mudanças ao nível do DNA. Com o advento da epigenética os mecanismos regulatórios e as marcações no DNA passam a ser considerados fundamentais para a formação de características adaptativas. A descoberta dos genes homeóticos (HOX) comuns a todos os grupos de animais trouxe uma aproximação entre todos os táxons. Explorar estes aspectos dos genes Hox é importante pelo fato de que a expressão deles está diretamente ligada ao surgimento de novidades evolutivas como os membros em tetrápodes.

Sabemos que a genética do desenvolvimento (Evo-Devo) é um conteúdo mais mencionado no Ensino Superior, no entanto acreditamos que certas noções importantes podem ser exploradas no Ensino Básico. Aqui o professor pode trabalhar com uma série de recursos didáticos disponíveis para facilitar o entendimento deixando as aulas mais lúdicas.

Sem tais noções de genética supracitadas, as adaptações anatômicas e morfológicas perdem o sentido, pois em princípio estas ocorrem ao nível do DNA e se expressam devido a interações gênicas. Os aspectos ambientais também devem ser valorizados no ensino de adaptação, pelo fato do ambiente exercer pressões seletivas nos organismos. Mudanças comportamentais também atuam de maneira a fixar essas características em uma população.

Assim, ao realizarmos a articulação entre o conceito estruturante adaptação e conceitos auxiliares, acreditamos que essa maneira de integrar conteúdos pode ser usada de diferentes formas, e uma delas é como um guia para o Ensino de Ciências. O educador aqui tem o papel de eleger os conteúdos estruturantes de maneira apropriada para abordar uma temática, tendo em mente as dificuldades dos estudantes, se propondo a estabelecer relações que minimizem obstáculos frequentes na dinâmica em sala de aula.

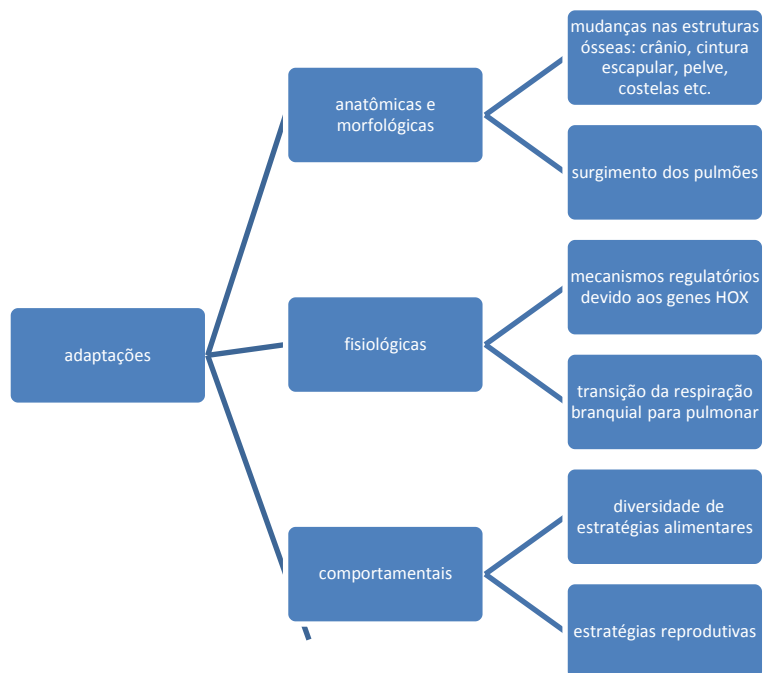
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o professor o maior desafio é compreender porque o alunos não compreendem, para isso é necessário que ele se coloque como eterno aprendiz. O exercício de inversão de papéis contribui para que o educador repense a maneira de trabalhar um conteúdo. A literatura tem mostrado cada vez mais indícios que a compreensão da evolução biológica pelos estudantes é bastante precária, pois falta a eles uma série de ferramentas do conhecimento que lhes possibilite estabelecer relações entre o que sabem e o que deveriam saber.

Optamos nesse artigo por uma abordagem a partir de conceitos estruturantes e para nós a *adaptação* é uma das chaves para a entendimento da evolução biológica, além de ser um conceito estruturante na Biologia, pois possibilita uma abordagem funcional e evolutiva. Ao tratar de um caso específico como a transição do ambiente aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterygios, encontramos um meio de sugerir ao educador uma maneira contextualizada de explorar essa temática em diversos âmbitos, e assim ele pode estender sua forma de organizar este conteúdo para outros conteúdos , por exemplo, as adaptações para o voo em aves.

Em função dessa revisão, destacamos os seguintes aspectos funcionais da transição dos Sarcopterygios da água para a terra na Figura 5. A respeito da biologia evolutiva não é possível elencar pontos específicos, pois se trata de uma narrativa histórica.

Figura 5 – Aspectos biológicos funcionais referentes à adaptação



Fonte: O próprio autor.

No próximo capítulo iremos desenvolver uma sequência didática delineada na perspectiva de Astolfi (1994). Nossas atividades se basearam nos aspectos evolutivos que emergiram do primeiro e nesse segundo artigo, ou seja, desenvolveremos atividades que contemplem a adaptação em seu aspecto histórico, com o apoio da História da Ciência e atividades que contemplem a adaptação em âmbito funcional articulando aspectos evolutivos

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia em contexto**. Moderna, v. 2, 2015.

ASHLEY-ROSS, M. A.; HSIEH, S. T.; GIBB, A. C.; BLOB, R. W. vertebrate land invasions - past, present, and future: an introduction to the symposium. **Integrative and Comparative Biology**, p. 1-5, 2013.

ASTOLFI, J. P. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12 n. 2, p. 206-216, 1994.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BRÖCKELMANN, R. H. **Conexões em biologia**. Moderna, v. 2, 2015.

DAESCHLER, E.B.; SHUBIN, N.H.; JENKINS JR, F.A. A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan. **Nature**.v.440, 2006.

CAPONI, G. Las raíces del programa adaptacionista. **Scientia Studia**, v. 9, n. 4, p. 705-38, 2011.

CARLSON, B. M. **Embriologia humana e biologia do desenvolvimento**. Editora Elsevier, 2014.

CARROLL, S. B. Evo-devo and an expanding evolutionary synthesis: a genetic theory of morphological evolution. **Cell** 134, jul. 11, 2008.

CARVALHO, I. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como selecionar conteúdos de biologia para o ensino médio. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**. v. 1 n. 1, 2011.

FAVIER, B.; DOLLÉ, P. Developmental functions of mammalian Hox genes. **Molecular Human Reproduction**. v. 3, p. 115-131, 1997.

FUTUYMA, D. J. **Evolution**. 2. ed., 2009.

FREEMAN, S.; HERRON, J. C. **Análise evolutiva**. Tradução de Maria Regina Borges-Osório e Rivo Fisher. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, 6 (3), 1988.

_____. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, 4 (1), 30-35, 1986.

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, p. 581-598, 1978.

HICKMAN, C. P.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

HOEKSTRA, H. E.; COYNE, J. A. The locus of evolution: evo-devo and genetic of adaptation. **Evolution**. v. 61, ed. 5, p. 995-1016, 2007.

LINHARES, S. V. de; GEWANDSZNADJER, F. **Biologia hoje**. Ática. v. 2, 2015.

MAYR, E. **Biologia, ciência única**: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica. Tradução de Marcelo Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MAYR, E. Cause and effect in biology. **Science**, New Series, v. 134, n. 3489, 1961.

POUGH, F. H. **A vida dos vertebrados**. Ateneu, 2003.

REILLY, S. M.; LAUDER, G. V. The evolution of tetrapod feeding behavior: kinematic homologies in prey transport. **Evolution**, v. 44, n. 6, 1990.

RIDLEY, M. **Evolução**. São Paulo: Artmed, 2006.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? **Ciência e Ambiente**. 36: 93-124, 2008.

_____. Controvérsias sobre o conceito de adaptação e suas implicações para o ensino de evolução. *Anais do V ENPEC*, p. 1-13, 2006. Disponível em: <http://axpfep1.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p742.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2015.

SCHNEIDER, I.; SHUBIN, N. H. The origin of the tetrapod limb: from expeditions to enhancers. **Trends in Genetics**, v. 29, n. 7, 2013.

ZIMMER, C. **A beira d' água**: a macroevolução e transformação da vida. Tradução de Marcus Penchel. Jorge Zahar, 1

CAPÍTULO 3

SUPERANDO OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E PEDAGÓGICOS: SEQUÊNCIA DIDÁTICA DA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ADAPTAÇÃO E A NARRATIVA HISTÓRICA DA TRANSIÇÃO DO AMBIENTE AQUÁTICO PARA O TERRESTRE POR UM GRUPO DE VERTEBRADOS

Os Obstáculos Pedagógicos em Bachelard: Aspectos Gerais

Os obstáculos epistemológicos podem ser estudados no desenvolvimento da história e também na prática educativa (BACHELARD, 1996). “Para um epistemólogo um obstáculo é um contrapensamento” (BACHELARD, 1996, p. 22), o Ensino de Ciências deve atuar nesse sentido, questionando as bases que dão origem aos contrapensamentos. Para o professor, é necessário compreender por que os alunos não aprendem, é assim que se interpõe o que chamamos de obstáculos pedagógicos.

Bachelard chama atenção para a importância em sala de aula da psicanálise do erro, “[...] poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão” (p. 23). Para o autor, o erro tem um sentido de reflexão, seria o momento de rever as falhas e (re) significar o conteúdo que se deseja apresentar:

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa com uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula com conhecimentos empíricos já construídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos sedimentados pela vida cotidiana (BACHELARD, 1996, p. 23, **grifos do autor**).

Assim, o trabalho educativo não é apenas um intercâmbio de conteúdos, mas sim um momento de construção. Não se aprende pelo acúmulo de informações, a aprendizagem está relacionada à modificação do espírito do aprendiz (LOPES, 1993). A epistemologia Bachelardiana encara a ciência como provisória, por isso Lopes (1996) diz que, para o autor, o conhecimento é a reforma da ilusão, aquilo que se acredita ser em um momento, passa a não ser mais em outro momento.

Ainda de acordo com Lopes (1993), Bachelard por ser um defensor do descontínuismo é contrário ao fato de se querer estabelecer pontes imaginárias entre o conhecimento comum e o conhecimento científico,

[...] a racionalidade do conhecimento científico não é um refinamento da racionalidade do senso comum, mas, ao contrário, rompe com seus princípios, exige uma nova razão que se constrói à medida que são suplantados os obstáculos epistemológicos. Essa ruptura impede o infinito encadeamento de ideias como elos de uma corrente produzindo semelhança dos anteriores, visando o encaixe perfeito (LOPES, 1993, p. 325).

É necessário romper com o conhecimento comum para compreender os descontínuismos ocorridos na história da ciência. A autora conclui sua explicação considerando que

Somos a expressão, não de nosso conhecimento imediato, de nossa habilidade inata, mas do constante e descontínuo processo de retificação que nosso espírito sofre no decorrer de nossa existência. O que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber (LOPES, 1996, p. 254).

Dessa forma, é importante que o educador em Ciências não se prenda ao contínuismo entre o conhecimento comum e o científico e a crença de se conhecer a partir do nada. Quando considerarmos que o conhecimento científico apenas amplia o conhecimento de sentido comum ou negamos a existência de conceitos prévios, não cuidamos para que os preconceitos e os erros das primeiras concepções sejam debelados, entravamos novos conhecimentos e cristalizamos falsos conceitos reafirmando certos obstáculos (LOPES, 1993).

Sendo a epistemologia de Bachelard advinda do questionamento da história da ciência, essa ganha papel de destaque em seus escritos, assim para a educação científica o conhecimento da História da Ciência é primordial a compreensão do próprio desenvolvimento científico. Em sala de aula é importante que o professor retorne às bases que deram origem às construções científicas, mostrando não apenas os êxitos dos cientistas, mas suas dificuldades e seus questionamentos.

Como os alunos chegam ao ambiente escolar com os seus conhecimentos prévios já construídos, a aprendizagem da História da Ciência pode atuar desmistificando a noção de senso comum e idealizada que se tem da ciência. Neste sentido, Lopes (1993) se posiciona a favor do ensino de História da Ciência como algo que fortalece o pensamento científico pela colocação das lutas entre ideias e fatos que constituíram o desenvolvimento do conhecimento (LOPES, 1993). O conteúdo de evolução biológica é um exemplo de construção científica no qual a compreensão do contexto histórico é imprescindível para o entendimento do que é a teoria evolutiva.

No entanto, esse conteúdo é frequentemente apresentado em sala de aula como oposição entre as ideias de Lamarck e Darwin. Descarta-se o contexto histórico e tenta-se trabalhar com os conceitos gerais da evolução dos seres vivos, ou apenas é citada a existência de embates históricos sem criticidade. Lopes (1993) aponta que para Bachelard a importância de se trabalhar com a história está em enfatizar as “verdades” e os erros, pois o conhecimento das verdades nos faz entender as progressivas construções racionais, os erros nos permitem entender o que obstrui o conhecimento científico. A autora salienta,

[...] a partir daí que constatamos como muitos desses entraves estão presentes no processo de aprendizagem. **A dificuldade do aluno, muitas vezes, não é individual, fazendo parte de uma recorrência histórica** (LOPES, 1993, p. 327, grifo nosso).

Nesse sentido, considerar o descontínuismo torna-se um aspecto significativo tanto para a compreensão da História da Ciência como para a aprendizagem de conceitos. Para Bachelard, a Ciência é um discurso verdadeiro sob um fundo de erros, que vão sendo retificados pelo trabalho dos cientistas, porém cada ciência produz sua verdade sobre determinados critérios estabelecidos e essas verdades são provisórias. (LOPES, 1996).

A ideia de ciência provisória, assim como verdades provisórias, está fundamentada na História da Ciência com o apoio da Filosofia, pois a história da ciência nos mostra o contexto histórico do desenvolvimento científico e a filosofia nos ajuda a compreender o pensamento dos estudiosos da natureza, de acordo com determinados períodos. Essa junção pode auxiliar os educadores em ciências a fundamentar suas explicações, pois possibilita o entendimento de que ciência muda com o passar do tempo.

A “Filosofia do não” se estabelece na ideia de ciência provisória, pois reforça o descontínuismo e as rupturas na história do conhecimento científico. A noção de ciência contínua reforça a ideia de que o desenvolvimento se obtém somente através de êxitos, pois encobre as mudanças acontecidas no decorrer da história que são essências a compreensão dessa mesma história. Segundo Lopes,

[...] os progressos científicos foram muito lentos, os continuístas interpretam que os conhecimentos científicos partem dos conhecimentos comuns por lenta transformação. Quanto maior a lentidão, mais ficam mascaradas as rupturas do conhecimento, mais é defendida a ideia de progresso contínuo. Daí a história ser concebida como um contínuo relato de eventos, tal qual num livro, em que o capítulo antecedente determina inexoravelmente o capítulo seguinte (LOPES, 1996, p. 255).

Podemos citar como exemplos de rupturas nas ciências, a mudança da física newtoniana para física relativista de Einstein, os modelos atômicos de Demócrito a Dalton e a visão fixista das espécies para as primeiras ideias de mudança, que culminaram nos modelos que explicam a evolução biológica, como os de Lamarck e de Darwin.

O continuísmo na interpretação da cultura científica marca nossa tradição filosófica ocidental (LOPES, 1996). Muitos professores ao não darem importância à história da ciência e ao utilizar o livro didático como único guia de suas aulas reforçam os continuísmos no desenvolvimento científico. Lopes (1996) relata que Bachelard, em suas críticas ao continuísmo, diz que uma das tentativas de sustentar essa ideia no ambiente escolar é defender que o mérito do progresso científico se deve a alguns *insights* de algo que já estava no ar, “[...] as ideias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores” (LOPES, 1996, p. 255). Um exemplo disso para Bachelard, de acordo com a mesma autora, é a interpretação da química sendo uma derivação da alquimia.

O continuísmo se traduz em um obstáculo pedagógico quando a cultura científica é entendida como uma extensão do conhecimento comum:

Na medida em que se crê na continuidade entre conhecimento comum e conhecimento científico, procura-se reforçá-la: busca-se considerar a ciência como uma atividade fácil, simples, extremamente acessível, nada mais que um refinamento das atividades do senso comum. Tal perspectiva, por sua vez, tende a ser a divulgação de uma falsa imagem da ciência, capaz de estimular processos de vulgarização excessivamente simplificadores e, por isso mesmo, crivados de equívocos (LOPES, 1996, p. 256).

A dificuldade de compressão dos estudantes em relação a determinados conteúdos provém, entre outras coisas, da extirpação do erro entendido como uma anomalia que deve ser combatida de maneira veemente juntamente com a apresentação dos conteúdos como um todo contínuo, dificultando o entendimento da ciência em um contexto social, histórico e filosófico.

Em termos de obstáculos ao conhecimento, o erro nos dá indícios de como os obstáculos pedagógicos atuam, ou seja, uma maneira de compreender por que os alunos não compreendem, seria entender sua maneira de pensar os conteúdos explorando seus erros mais frequentes. Quando o professor deixa de explorar uma dúvida, deixa também de aprender, pois a construção do conhecimento é dialética. A esse respeito Bachelard é enfático,

[...] acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância da irreflexão (BACHELARD, 1996, p. 23).

Segundo Lopes (1993), uma maneira de o professor compreender as dificuldades dos alunos seria ele se colocar como aluno, pois a cultura científica exige o papel de estudante de todos os seus participantes, ensinar implica em aprender, em um processo inesgotável. Jean Pierre Astolfi em diversos artigos tem abordado questões relativas a mudanças conceituais e a maneira como a didática tem influenciado essas mudanças.

Insistimos na questão do conhecimento científico não ser um refinamento do conhecimento comum. Para Astolfi (2009), um erro comum dos educadores é utilizar as concepções alternativas dos alunos, as quais eles acreditam que ocupam o mesmo “nicho ecológico” dos saberes científicos, para que ocorra a aprendizagem. Assim, as concepções alternativas se opõem ao objetivo, pois impedem o professor de alcançar o que deseja ensinar (ASTOLFI, 2009).

As representações utilizadas pelos professores são encaradas pelos alunos como explicações funcionais, e são compreendidas como uma forma de conhecimento como qualquer outro porque funcionam a um propósito, e por isso são persistentes durante os anos escolares, isto porque os alunos não veem como algo que se opõem ao conhecimento científico, mas sim que se situa no mesmo campo do conhecimento (ASTOLFI, 2009). O mesmo autor insiste que os obstáculos não são dificuldades, mas sim facilidades que concedemos à mente (ASTOLFI, 2009), eles são uma espécie de núcleo duro²¹ das representações, pois é o que resiste verdadeiramente ao raciocínio e à aprendizagem (ASTOLFI, 1994).

Muitas das representações trazidas pelos estudantes entram em conflito cognitivo com o conhecimento científico, tais conflitos devem ser resolvidos de maneira positiva para que não sejam compreendidos temporariamente e esquecidos em um segundo momento (ASTOLFI, 1988). Somente a insistência do professor pode desbloquear uma situação de conflito, com a criação de dispositivos didáticos que permitam uma evolução intelectual para os alunos (ASTOLFI, 1994), visto que a aquisição de novos conceitos não irá abastecer um vazio de ignorância, mas sim substituir progressivamente um corpo de ideias e conceitos prévios (ASTOLFI, 1988). Assim, o papel do professor consiste em proporcionar dispositivos de integração do conhecimento. Segundo o autor,

²¹ A expressão núcleo duro é utilizada por Lakatos ao se referir à construção de teorias científicas, seria uma espécie de núcleo resistente, ou seja, a noção principal que sustenta uma teoria.

[...] evidentemente o papel do professor consiste em modificar estas representações que competem com o conhecimento científico, não serve de nada forçar o processo de aprendizagem se os alunos não dispõem de dispositivos intelectuais que lhe permitam uma verdadeira assimilação. Frequentemente não se faz nada além de substituir as representações preexistentes por outras representações geradas por informações novas sem produzir nenhum progresso (ASTOLFI, 1988, p. 148, **tradução nossa**).

Os objetivos pedagógicos devem estar claros e ser definidos *a priori*, pois muitas vezes o fracasso na transformação didática da disciplina reside na pulverização dos objetivos, o que interfere nos critérios de seleção dos conteúdos (ASTOLFI, 1988).

O cuidado na seleção dos conteúdos em Biologia é importante visto que a quantidade de conteúdos e conceitos na disciplina é demasiadamente extensa, assim elencar conceitos que estruturam certas temáticas é uma maneira de otimizar o tempo em sala de aula e garantir a eficácia da aprendizagem.

Desta maneira, apresentaremos a seguir orientações para a elaboração de uma sequência didática sugerida por Astolfi (1994). A abordagem sugerida pelo autor visa à superação de concepções de senso comum e a ressignificação de conteúdos por meio de mudanças conceituais²².

Plano Geral da Sequência Didática de Astolfi

Tendo em mente que os alunos trazem consigo representações elaboradas ao longo de sua vivência e que elas interferem no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos escolares, a sequência didática apresentada por Astolfi visa à superação de obstáculos na aprendizagem. Os obstáculos não se encontram isolados, mas fazem parte de um todo, isso ajuda a compreender a resistência e a dificuldade para que os obstáculos sejam superados pelos estudantes (FARIAS; SIMÕES; TRINDADE; 2013). A sequência didática sugerida por Astolfi (1994) é composta por quatro etapas e está amparada na ideia de objetivo-obstáculo. As etapas são respectivamente a identificação, a fissuração, a superação e a automatização.

²² Aqui estamos apresentando o ideal da sequência didática sugerida por Astolfi, no entanto, artigos a respeito de mudança conceitual de Mortimer (1992), Sepúlveda; Mortimer; El Hani (2013), Arruda; Villani (1994), entre outros, apontam resistência às mudanças conceituais por parte dos alunos, sendo este um processo bastante complexo.

i. Identificação:

A primeira etapa consiste em localizar os obstáculos quando os alunos mobilizam seus conhecimentos, a mobilização pode se dar de diversas maneiras, por algum tipo de trabalho requerido pelo professor, por uma apresentação oral, por meio de desenhos etc. Astolfi (1994) não deixa claro em seu artigo se a identificação dos obstáculos deve ser feita pelo professor ou pelos estudantes, no entanto, Farias *et al.* (2013) acreditam que Astolfi juntamente com Peterfalve (1997) delegam aos alunos a identificação dos obstáculos. No entanto, ponderamos que seja possível que os alunos identifiquem suas dificuldades, mas não as compreendam como obstáculos, assim, caberia ao professor identificá-los partindo do conhecimento prévio dos estudantes.

ii. Fissuração

A fissuração consiste em provocar um conflito cognitivo na mente do estudante pelo questionamento de suas concepções e pela apresentação de indícios que divergem com suas ideias. A segunda etapa se apoia na insatisfação do estudante com suas representações, quando ele próprio percebe as contradições de seu pensamento.

iii. Superação do Obstáculo

Esta etapa representa o final do processo, aqui tem de haver um modelo alternativo de explicação e que seja mentalmente satisfatório (ASTOLFI, 1994). Após a desestabilização ou conflito inicial, o indivíduo se depara com um novo modelo representativo, permitindo resolver o problema que o afligia. Ao utilizar este novo modelo, ele percebe que este responde aos seus questionamentos e o aplica a novas situações, superando assim o obstáculo (FARIAS; SIMÕES; TRINDADE, 2013).

iv. Automatização

Nesta fase o novo modelo representativo, de alternativa conceitual passa a ser instrumento para resolver situações diversas, é o que Astolfi (1994) denomina automatização. Aqui o aluno já incorporou o novo modelo de representação e passa a utilizá-lo de maneira automática.

Ao construir sua sequência didática, Astolfi (1994) nos possibilita utilizá-la de diferentes formas, pois ela é um guia para o Ensino de Ciências. Sendo assim, pode-se utilizar nas intervenções em sala de aula, quando o professor objetiva partir do que o aluno conhece a respeito de uma temática e como uma maneira de elaborar uma aula, criando uma sequência a ser apresentada partindo das dificuldades inerentes ao tema, traçando objetivos para enfrentá-las.

Em função de eleger os conteúdos que podem se caracterizarem como obstáculos pedagógicos para aprendizagem dos temas relacionados à adaptação biológica, foram elaborados dois estudos teóricos, um sobre aspectos históricos relativos à adaptação e outro em que a adaptação é um conceito estruturante na evolução biológica.

No primeiro artigo abordamos a construção histórica, a partir do século XVIII, do conhecimento a respeito de adaptação. De nossa revisão emergiram alguns aspectos que elencamos em quatro fases:

1° Visão fixista das espécies em que as diferenças existentes nos organismos eram encaradas como obras divinas. Deus seria a fonte provedora de toda a diversidade existente. O termo adaptação não tem o sentido biológico.

2° Mudança direcionada pelo ambiente. Destaca-se aqui a obra de Lamarck, pois este atribuía as modificações nos seres vivos como respostas às modificações ambientais.

3° As estruturas são selecionadas. Os estudos de Darwin apontam que há uma luta pela sobrevivência, em que o meio seleciona as características mais favoráveis às diferenças ambientais no qual os animais são expostos, resultando em uma população com adaptações a àquele ambiente. O termo adaptação é interpretado em um sentido biológico. Entretanto Darwin também aceitava, assim como Lamarck, a herança dos caracteres adquiridos não rompendo totalmente com a visão anterior.

4° As diferenças entre os organismos são internas. Com a retomada dos estudos de Mendel e a conciliação destes com os trabalhos de Darwin e Wallace, as adaptações passam a ser compreendidas como diferenças no genoma dos organismos que expressam diferentes tipos de fenótipos e esses são selecionados pelo ambiente. Assim a adaptação é atualmente entendida como “[...] uma característica que aumenta a sobrevivência e a reprodução dos organismos em relação à característica ancestral. A seleção natural é o único mecanismo conhecido capaz de causar a evolução das adaptações” (FUTUYMA, 2009, p. 279). (Artigo I da dissertação).

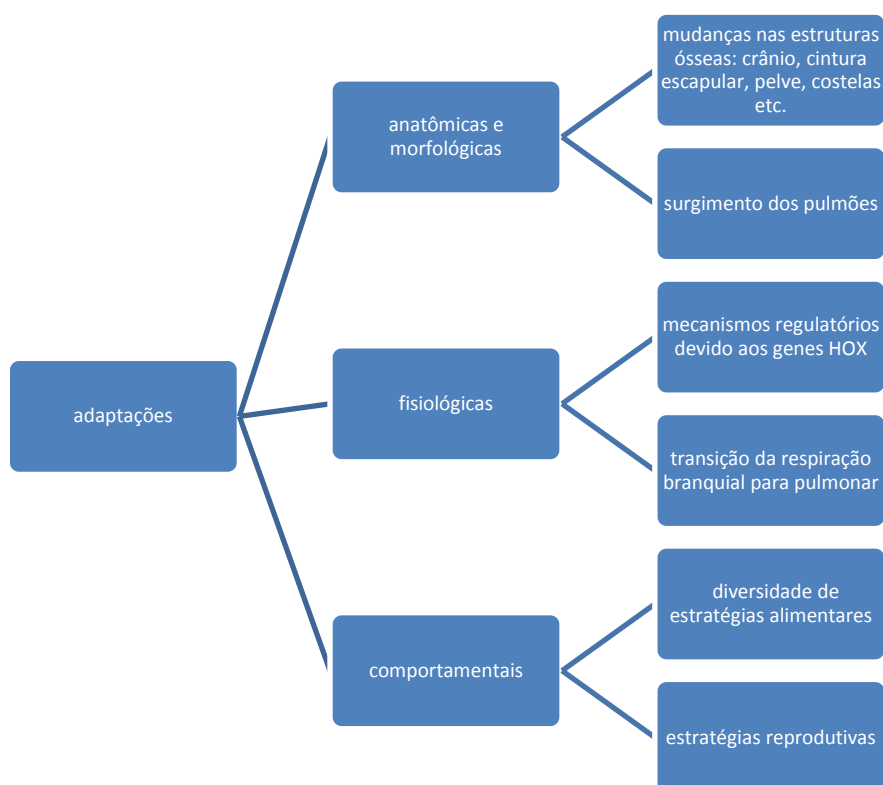
Nosso segundo artigo teve por objetivo eleger a *adaptação* como um conceito estruturante, baseado nas considerações de Mayr (1961). Para o autor os conteúdos em Biologia devem contemplar tanto os aspectos funcionais quanto os aspectos evolutivos. Assim, construímos uma narrativa histórica para recontar como se deu a *transição do ambiente aquático para o terrestre pelos vertebrados Sarcopterígios* enfatizando a Biologia Funcional e a Biologia Evolutiva e destacando a articulação do conceito de adaptação com outros conceitos auxiliares. O quadro abaixo representa essa articulação entre conceitos.

Quadro 1 – Conceito Estruturante: adaptações e seus aspectos conceituais

Conceito Estruturante: Adaptações			
Aspectos	Biologia Evolutiva		Biologia Funcional
	Narrativas Históricas: tempo geológico	↔	Adaptações Morfológicas e Anatômicas
	Origem das Adaptações: Genéticas e Epigenéticas		Adaptações Fisiológicas
	Irradiações		Adaptações Comportamentais

Fonte: O próprio autor.

Ao recontar a possível história evolutiva deste grupo de animais e discutir o conceito de adaptação destacamos ainda a emergência de três tipos de adaptações que podem ser evidenciadas de acordo com a Biologia Funcional.

Figura 2 – Aspectos biológicos funcionais referentes à adaptação

Fonte: O próprio autor.

A partir desses estudos teóricos, o presente capítulo propõe uma sequência didática para o Ensino Médio que contemple aspectos históricos, funcionais e evolutivos relacionados ao conhecimento sobre adaptação biológica.

Objetivos

Ao construir a sequência didática objetivamos que os alunos possam:

- a) Compreender o conceito de adaptação biológica;
- b) Identificar as diferentes concepções em relação à adaptação biológica ao longo da história da Biologia;
- c) Compreender quais adaptações permitiu ao grupo de vertebrados Sarcopterígio conquistarem o ambiente terrestre;
- d) Reconhecer a importância das narrativas históricas e das evidências dessa transição;
- e) Compreender que o conceito de adaptação biológica é coerente para todas as outras situações da evolução biológica;

Sequência Didática

Atividade 1: Compreendendo Adaptação

Tempo estimado: 1 aula.

Conteúdo da aula

– Introdução ao conceito de adaptação.

Objetivos específicos

– Identificar os conhecimentos prévios dos estudantes.

Metodologia e estratégias

A aula terá início com a leitura pelo professor juntamente com os estudantes do texto *A Transição do Ambiente Aquático ao Terrestre* (APÊNDICE 1). O professor deverá fazer perguntas que possibilitem identificar os conhecimentos prévios dos estudantes.

– *Quais características permitiram aos vertebrados ocuparem o ambiente terrestre?*

– *O que vocês entendem por adaptação?*

O professor irá passar um vídeo sobre adaptações intitulado *Adaptações dos Seres Vivos* (<https://www.youtube.com/watch?v=_W8W3eI1X1c>), o vídeo aborda os diferentes tipos de adaptações encontrados nos seres vivos. Após este momento o professor poderá levantar questões a respeito do vídeo.

- *Qual o papel dessas características para os organismos?*
- *Por que essas características surgiram?*
- *Qual a diferença entre características e adaptações?*
- *Todas as características dos seres vivos são adaptações?*
- *Qual o papel do ambiente em relação às adaptações?*

Por fim o professor irá confrontar os estudantes sobre seus conhecimentos prévios. Uma sugestão seria elencar, na lousa, todas as respostas dos estudantes bem como que todos os estudantes tivessem essas respostas, para ao longo das atividades, poderem confrontar com novas informações.

Recursos didáticos

- tv pendrive e o texto *A transição do Ambiente Aquático ao Terrestre* impresso.

Atividade 2 – A história da construção de conceitos de adaptação.

Tempo estimado: 2 aulas.

Conteúdo da aula

- explicações teóricas a respeito da adaptação em diferentes períodos.

Objetivos específicos

- Identificar como são apresentadas as ideias de adaptação nos dois textos.
- Conhecer contextos históricos nos quais as construções de explicações adaptativas foram formuladas e confrontá-las com os conhecimentos prévios dos estudantes.

Metodologia e estratégias

A aula se inicia com a divisão dos alunos em dois grupos, cada grupo receberá dois textos, os textos são os mesmos para os grupos. Para essa atividade indicamos os textos *A Teoria Evolutiva de Lamarck* (TIDON, 2014) e *Entendendo a Árvore da Vida* (TOFFOLI, 2008), ambos da revista *Genética na Escola*.

Haverá um tempo de aproximadamente 20 minutos destinado à leitura dos textos. Após a leitura, os estudantes deverão fazer uma síntese dos aspectos que envolvam *mudanças e adaptações* em cada texto, e irão eleger dois integrantes do grupo para apresentar as conclusões de cada grupo. Os grupos deverão apresentar um para o outro, os aspectos supracitados em cada texto. O professor será o mediador dessa atividade, fazendo intervenções para esclarecer aspectos que não estiveram claros para os estudantes e deverá utilizar os conhecimentos prévios que emergiram na primeira atividade para instigar o debate. Os grupos serão representados por dois alunos cada, no entanto, todos os membros

dos grupos deverão contribuir para defender o ponto de vista de seu grupo e auxiliar nas respostas quando houver a intervenção do mediador.

Recursos didáticos

– Textos impressos

Atividade 3 – adaptações que possibilitam a ocupação do ambiente terrestre pelos animais vertebrados.

Tempo estimado: 2 aulas

Conteúdo da aula

– apresentações de adaptações que contribuíram para que os vertebrados ocupassem o ambiente terrestre.

Objetivos específicos

- promover uma leitura reflexiva dos textos: Da água para a Terra e A Descoberta do Elo Perdido.
- estabelecer relações entre os textos e o vídeo Ascensão dos Animais: Triunfo dos Vertebrados, no que se refere a adaptações.

Metodologia e estratégias

Com a construção do conceito de adaptação possibilitado pelas duas atividades anteriores, passaremos a um caso específico de adaptação: a ocupação do ambiente terrestre pelos vertebrados Sarcopterígio. O professor agora distribuirá os estudantes em dois grupos, cada grupo receberá um texto a respeito deste tema. No texto eles deverão identificar quais aspectos foram favoráveis para a transição destes animais da água para a terra, grifando o texto. Os textos para a leitura são: Da Água para a Terra (2005) (<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/da-agua-para-a-terra>) e A Descoberta de um Elo Perdido (2006) (<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/a-descoberta-de-um-novo-elo-perdido>).

A atividade com os textos dará suporte para a compreensão de um vídeo da British Broadcasting Corporation (BBC) que aborda a temática. Antes de apresentar o vídeo, Ascensão dos Animais: Triunfo dos Vertebrados (<https://www.youtube.com/watch?v=QbZXxQNPwGk>), o professor deve apresentar duas questões para os estudantes:

- *Quais foram as adaptações anatômicas/morfológicas e fisiológicas que permitiram a ocupação do ambiente terrestre pelos vertebrados?*
- *Quais adaptações estão relacionadas ao comportamento?*

Essas questões deverão orientar os estudantes para analisar criticamente o vídeo. É importante que o professor contextualize e conceitue o que são adaptações fisiológicas, morfológico-anatômicas e comportamentais. Isso pode ser feito a partir do que os estudantes grifaram nos textos.

Recursos didáticos

– tv pendrive e textos impressos.

Avaliação

– A avaliação consistirá na construção de dois mapas conceituais²³, que poderão ser feitos em duplas. No primeiro mapa eles deverão conceituar a adaptação biológica, no segundo mapa eles deverão elencar as adaptações que permitiram os vertebrados ocuparem o ambiente terrestre.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao partirmos da noção de que os obstáculos pedagógicos se referem às dificuldades enfrentadas pelos estudantes na apresentação de novos conteúdos, chegamos a um consenso, o professor, ao ensinar algo novo, deve se colocar no lugar dos estudantes supondo as dificuldades intrínsecas ao que se quer ensinar, encarando-as como um desafio.

A análise do erro apresenta uma série de indícios, pois quando o professor cede espaço para o aluno expressar sua maneira de pensar, uma série de lacunas no pensamento dos estudantes surgem. Esta é a hora em que o professor deve pensar em uma maneira lógica de abordar um conteúdo para que este faça sentido e não seja esquecido, visto que é o professor que seleciona a maneira como um tema será conduzido.

Para Astolfi (2009), os obstáculos não são dificuldades, são facilidades que concedemos à mente. Assim, o professor ao desenvolver uma sequência didática mais contextualizada, que coloque em cheque os conhecimentos prévios dos estudantes, tem maiores chances de obter êxito em seu projeto pedagógico. Ao desenvolver a sequência didática com enfoque na abordagem proposta por Astolfi (1994), tentamos contemplar todas as etapas descritas pelo autor diversificando as atividades.

²³ Indicamos aos professores a leitura do artigo Construindo Mapas Conceituais (TAVARES, 2007) Ciências & Cognição, Vol. 12: 72-85, para auxiliar na construção da atividade.

O primeiro momento foi dedicado à leitura de um texto geral para que os estudantes se sentissem à vontade para expressar seus pensamentos. Esse é o momento no qual o professor deve ter muito empenho e atenção em ouvir o que os estudantes pensam a respeito do tema proposto, ou seja, partindo dos conhecimentos prévios dos estudantes ele irá adequar todas as demais propostas. A primeira atividade corresponde à primeira etapa indicada por Astolfi, a identificação do obstáculo.

A segunda atividade é dedicada a conhecer um pouco da história por trás das construções teóricas. O texto a respeito de Lamarck aborda sua história, suas ideias e as semelhanças entre seu pensamento e o de Darwin. O texto dedicado à árvore da vida mostra aspectos do pensamento de Darwin, assim como a relação entre seus estudos e a genética, apresentando um pouco da síntese moderna. Com essa atividade aspectos da História da Ciência podem ser utilizados pelos professores para dar maior significado à temática.

A proposta é que os alunos sintetizem os aspectos relacionados às mudanças e adaptações no texto. Isto deve ser feito com a divisão dos grupos e posterior apresentação de suas conclusões, pois é uma maneira de promover o debate e a argumentação. Essa etapa corresponde à fissuração, pois é o professor que ao mediar o debate, coloca em cheque os conhecimentos prévios dos alunos com as informações apresentadas nos textos.

Depois de compreender as adaptações e como tais noções foram estabelecidas pelos diferentes naturalistas, os alunos entrarão em contato com uma situação específica: a ocupação do ambiente terrestre pelos vertebrados. A leitura dos textos dará suporte para uma visão mais direcionada dos aspectos adaptativos relativos aos eventos que resultaram na ocupação do ambiente terrestre (aspectos funcionais e evolutivos).

Propomos que o vídeo da BBC seja a última atividade da sequência, porque as atividades anteriores podem auxiliar os estudantes na superação dos obstáculos pedagógicos referentes ao que é adaptação como também compreender algumas explicações importantes da narrativa histórica. Assim, a última atividade está de acordo com as indicações de Astolfi, pois juntamente com as atividades anteriores, podem possibilitar a superação do obstáculo, com uma proposta alternativa e satisfatória para compreender o que são adaptações biológicas.

Ao assistir o documentário, os alunos terão subsídios para avaliar criticamente as informações apresentadas, bem como entender como a narrativa apresentada foi construída e finalizar a última etapa da sequência didática que corresponde à automatização. Esta se baseia na “independência” do estudante em articular o modelo proposto para situações semelhantes.

REFERÊNCIAS

ASTOLFI, J. P. El Aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 147-155, 1988.

———. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12 n. 2, p. 206-216, 1994.

———. El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos. **Revista Educación y Pedagogía**, v. 11 n. 25, 2009.

ASTOLFI, J. P.; PETERFALVI, B. Enseignants et élèves face aux obstacles. In: **ASTER**, n. 25. p. 193-216. Paris: INRP, 1997.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

FARIA, T.; SIMÕES, B. dos S.; TRINDADE, E. C. A. Tentativa de superar obstáculos de aprendizagem. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 121-150, 2013.

KELLNER, A. Da água para a terra. **Ciência Hoje**, 2005, p. 1-3.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

———. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de Ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11 n. 3, p. 324-330, 1993.

TIDON, R. A teoria evolutiva de Lamarck. **Genética na Escola**, v. 9, n. 1, 2014.

TOFFOLI, D. Entendendo a árvore da vida: conexões evolutivas. **Genética na Escola**, v. 3, n. 2, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

O objetivo geral da dissertação foi abordar a temática acerca de adaptação biológica, para isso dedicamos nosso primeiro artigo a uma reconstrução histórica do conceito baseado na epistemologia de Bachelard. A opção por um recorte histórico-epistemológico se deve a literatura a respeito da temática de adaptações, o artigo de Sepúlveda e El Hani (2006) salienta que os estudantes devem aprender sobre a história das construções científicas, para dar significado aos conteúdos.

O segundo artigo foi um guia para o professor selecionar tais conteúdos, para isso estabelecemos o critério de conceitos estruturantes. Estes devem ser conceitos que possibilitem os estudantes terem contado com a biologia funcional e a biologia evolutiva, e mostramos neste artigo que o conceito de adaptação contempla as duas abordagens. O terceiro artigo propõe uma sequência didática de acordo com Astolfi (1994) sustentada nos dois primeiros artigos, que visa à superação de obstáculos epistemológicos. Para tanto elaboramos atividades que contemplassem as etapas sugeridas pela autor em sua sequência didática, estimulando o debate e a visão crítica dos estudantes.

Acreditamos que esta dissertação poderá contribuir para um entendimento mais adequado a respeito da adaptação biológica, podendo ser utilizado com um guia para aulas de biologia, construção de oficina que abordem evolução biológica, e outras demais atividades. Com a pesquisa realizada para a elaboração da dissertação foi possível perceber que a maneira mais satisfatória de ensinar Ciências é apresentando aos estudantes um pouco da história das construções científicas. Sem tais contextualizações, os conteúdos perdem seus objetivos acadêmicos e a memorização é favorecida.

Outro ponto a ser destacado na pesquisa é a relevância de articular aspectos funcionais da biologia com aspectos evolutivos. Acreditamos que todos os conteúdos em biologia são passíveis dessa articulação. Ao utilizar as narrativas históricas os mais diversos temas ficam mais atraentes para os estudantes e assim, perceberam que não necessitam decorar nomes para compreender biologia, pois o mais importante são os processos e o estabelecimento de relações, entendido isso, os nomes perdem a importância.

Pretendemos em um trabalho futuro, como uma tese de doutorado, ampliar os estudos a respeito de adaptações, talvez analisar quais são os obstáculos pedagógicos específicos à temática da transição do ambiente terrestre pelos animais vertebrados e

também explorar o debate entre adaptacionista e anti-adaptacionistas, o que não foi possível no presente trabalho devido ao tempo reduzido para sua execução.

APÊNDICE 1

A Transição do Ambiente Aquático ao Terrestre

Todo organismo deve ser funcional ao ambiente em que vive. Assim, organismos que não estão adaptados a seu *habitat*, certamente sucumbirão sem deixar descendentes. Caso certas características selecionadas pelo meio venham a conferir vantagens adaptativas, os animais que as possuem terão sucesso em detrimento de outros.

Existe um consenso por parte dos cientistas de que os tetrápodes desenvolveram seus membros na água e, por motivos não totalmente conhecidos, começaram a se arrastar para fora da água. O período geológico chamado Devoniano foi um período de secas sazonais, poços rasos, que geralmente se esvaziavam em períodos de secas, prendendo seus habitantes em pequenos corpos de água estagnada.

As condições climáticas do Devoniano atuaram em termos de pressão seletiva do ambiente, e para compreender melhor como a pressão ambiental se traduziu em relação à adaptação dos organismos, algumas teorias foram propostas com o objetivo de reconstruir o cenário que levou ao aparecimento dos primeiros tetrápodes.

Há uma teoria que diz que um grupo de peixes possuíam nadadeiras que os permitiam rastejar de poços secos, passando pela terra e chegando a locais ainda com água, e que milhões de anos de seleção natural sobre estes peixes poderiam ter produzido linhagens com essa habilidade cada vez mais aumentada. No entanto, essa teoria foi duramente criticada sob a alegação de que um peixe que rasteja de um ambiente a outro consegue no máximo sobreviver.

Outra teoria enfatiza o contraste entre o ambiente aquático e o terrestre no Devoniano. A água estava repleta de uma variedade de peixes que se diversificaram para uma multiplicidade de nichos ecológicos. Predadores ativos e poderosos e competidores eram abundantes. Em contraste, a terra estava livre de vertebrados. Qualquer grupo de peixes (*sarcopterygii*) que pudesse ocupar a terra teria o ambiente livre de predadores e de competidores à sua disposição. Assim as mudanças adaptativas selecionadas pelo meio, em junção com oportunidades ecológicas que havia na terra, foram determinantes para desenvolvimento de adaptações já existentes nesses organismos.

(Texto Adaptado do artigo 2 da dissertação)

