



ANÁLISE DE UMA SEQÜÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO SOB UMA PERSPECTIVA SÓCIO-HISTÓRICA

ANALYSIS OF TEACHING-LEARNING SEQUENCE FOR EVOLUTION TEACHING FROM A SOCIOHISTORICAL APPROACH.

Claudia Sepúlveda¹
Charbel Niño El-Hani²
Vanessa Perpétua Garcia Santana Reis³

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

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

³Universidade Estadual de Feira de Santana/ Departamento de Ciências Biológicas
Instituto de Educação Gastão Guimarães (SEC-BA), Feira de Santana-BA, vanesreis@yahoo.com.br

Resumo: Neste trabalho analisamos os resultados da aplicação de uma seqüência didática para o ensino de evolução, desenvolvida e avaliada sob uma perspectiva sócio-histórica da aprendizagem, fundamentada no diálogo entre as idéias de Vygotsky e Bakhtin. Avaliamos o progresso dos estudantes na compreensão do ponto de vista da ciência escolar e sua relação com a dinâmica discursiva da sala de aula através da análise de episódios de ensino orientada pela caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação e por uma estrutura analítica do discurso desenvolvida por Mortimer e Scott.

Palavras-chave: ensino de evolução, conceito de adaptação; abordagem sócio-histórica.

Abstract: This paper reports the results of the application of a teaching sequence for evolution teaching, developed and evaluated from the perspective of a socio-historical approach to learning, grounded on a dialogue between Vygotsky's and Bakhtin's ideas. An analysis of teaching episodes was carried out, using a conceptual profile of adaptation and an analytical framework to investigate classroom communicative approaches developed by Mortimer and Scott, in order to evaluate the students' progress in understand school science perspective through discursive interactions in the classroom.

Keywords: evolution teaching; concept of adaptation; socio-historical approach

1. INTRODUÇÃO:

O ensino da teoria darwinista da evolução tem sido considerado fundamental não só para a compreensão de muitos dos modelos explicativos da Biologia, bem como para a formação do cidadão comum, afinal diversos fenômenos biológicos dependem do pensamento evolutivo para serem compreendidos de modo satisfatório, dentre eles alguns de grande importância para a humanidade, a exemplo da resistência bacteriana a antibióticos e das pandemias provocadas por vírus emergentes (Meyer & El-Hani, 2005). Contudo, desde a década de 1980, tem sido constatada a persistência de dificuldades por

parte dos alunos para resolver problemas e interpretar fenômenos biológicos em termos darwinistas, mesmo após instrução formal sobre o tema (Clough & Wood-Robinson, 1985; Bishop e Anderson, 1990; Bizzo, 1994; Desmastes, Settlage, Good, 1995; Jensen & Finley, 1996). São citados os seguintes fatores para a abrangência de tais dificuldades: a incompreensão de conceitos centrais que estruturam a teoria darwinista da evolução (Ferrari & Chi, 1998), a rejeição aos aspectos metafísicos que a teoria da evolução implica quanto a concepção de natureza e a frequência de visões inadequadas sobre a natureza da ciência (Smith; Siegel; McInerney, 1995; Sinatra et al. 2003; Dagher & Boujaoude, 2005).

Neste trabalho pretendemos analisar os resultados da aplicação de uma seqüência didática para o ensino da teoria da evolução por seleção natural em uma turma do ensino médio, desenvolvida e avaliada sob uma perspectiva sócio-histórica da aprendizagem, fundamentada na abordagem vygotskyana do desenvolvimento cognitivo (Vygotsky, 1981; 2001) e na concepção dialógica da compreensão de Bakhtin (Bakhtin, [1934] 1981; Volochinov, [1929], 1992).

O desenvolvimento da seqüência didática ocorreu no contexto da participação de uma comunidade escolar em um projeto de pesquisa acerca do ensino de evolução por seleção natural visto sob a perspectiva do modelo de perfil conceitual. O planejamento da seqüência foi fruto de um diálogo entre os objetivos de investigação da pesquisadora – primeira autora deste artigo – e as preocupações pedagógicas da professora responsável pelas aulas ministradas – terceira autora do artigo. A partir deste diálogo foram definidos três eixos orientadores: (1) o desenvolvimento de estratégias que diminuíssem as rejeições *a priori* ao ensino de evolução, decorrentes do fato de ser visto como uma ameaça à visão de mundo dos grupos culturais aos quais pertencem muitos estudantes; (2) a implementação de uma abordagem que tornasse o ensino de evolução significativo do ponto de vista da aplicação deste conhecimento em situações do cotidiano, ligadas à cidadania; (3) e que promovesse a compreensão da teoria da seleção natural através da significação do conceito darwinista de adaptação. A investigação da seqüência didática também se deu no âmbito de uma comunidade virtual de prática da qual participam os autores do artigo, e que tem como objetivo aprofundar a relação entre pesquisa em ensino de ciências e as comunidades escolares.

Na primeira seção do artigo, apresentamos de que modo a perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e Bakhtin foi empregada na elaboração e avaliação da seqüência didática, a qual é descrita na seção seguinte. Na terceira seção apresentamos as fontes de dados e as ferramentas que nos auxiliaram na análise do progresso dos estudantes na apropriação do ponto de vista da ciência e da linguagem social da ciência escolar. Com base nos resultados apresentados na quarta seção, discutimos diretrizes para o desenvolvimento de seqüências didáticas para o ensino da teoria darwinista da evolução segundo uma abordagem sócio-histórica da aprendizagem.

2. UMA ABORDAGEM VYGOTSKYANA-BAKHTINIANA DA SIGNIFICAÇÃO

De acordo com a lei genética de desenvolvimento cultural de Vygotsky, a aprendizagem tem origem em situações sociais. As funções mentais superiores, a exemplo da formação de conceitos aparecem primeiro entre as pessoas, como uma categoria interpsicológica, e através da internalização de experiências dirigidas socialmente, se transformam numa categoria intrapsicológica, como processos mentais internos (Vygotsky, 1981). A relação entre os planos inter e intrapsicológico se encontra fundada no fato de que em ambos são utilizados mediadores construídos social e culturalmente para pensar, a

exemplo da linguagem (Wertsch, 1985). Assim como Vygotsky, Bakhtin enfatiza o papel da interação social na formação da consciência individual e o caráter dialógico do processo de compreensão. Na concepção bakhtiniana, qualquer processo de compreensão ou significação é dialógico por natureza, e um indício de que houve compreensão do discurso alheio é o fato de o indivíduo conseguir povoar o discurso a ser compreendido com seu próprio discurso (Volochinov, [1929], 1992).

Mortimer e Scott (2003) buscaram nas idéias de Bakhtin parâmetros para investigar o modo como os estudantes progredem na compreensão do ponto de vista da ciência escolar a ponto de se tornarem hábeis em aplicá-los. Os autores identificam e caracterizam três estágios nas seqüências de ensino, através dos quais a apropriação gradual e progressiva de significados pelos estudantes se dá desde que novas idéias são introduzidas no plano social da sala de aula (Mortimer; Scott, 2003, p. 113-114).

O primeiro estágio de apropriação é proporcionado nas primeiras fases das seqüências de ensino, quando a professora propõe problemas, explora as idéias dos estudantes e introduz e desenvolve a estória científica¹. Durante este período, os estudantes ainda consideram as idéias científicas como constituintes de um discurso alheio, do outro, estranhas às suas próprias experiências. A próxima fase é alcançada quando os estudantes começam a conceber as novas idéias como em parte pertencentes ao outro, alheias, em parte pertencentes a eles mesmos. É comum nessa fase que os estudantes comecem a usar as idéias da ciência escolar, mas ainda de modo incerto e hesitante, um indício de que as idéias não foram completamente internalizadas. É mais provável que esta fase seja atingida quando é proporcionada aos estudantes a oportunidade de trabalhar com as idéias científicas e a professora tem como objetivo guiá-los neste processo de modo a sustentar a internalização. A fase final da apropriação progressiva do significado ocorre quando os estudantes se apropriam completamente das novas idéias. Um indício de que este processo está ocorrendo é o uso de idéias da ciência escolar pelos estudantes para construir seus próprios argumentos, assim como o emprego com fluência da linguagem social da ciência. Este estágio é mais provavelmente alcançado a medida que os estudantes aplicam o ponto de vista da ciência para interpretar diversos fenômenos e situações, coincidindo com o momento na seqüência didática em que a professora guia os estudantes na aplicação do ponto de vista da ciência e lhes transfere a responsabilidade de usá-lo.

Essa descrição do progresso dos estudantes na compreensão do ponto de vista da ciência escolar relaciona estágios da significação das idéias científicas pelos estudantes com as intenções e intervenções pedagógicas da professora. Consideramos, portanto, que este modelo cumpre importante papel heurístico tanto para o planejamento de seqüências didáticas, baseadas em uma perspectiva sócio-histórica do desenvolvimento cognitivo, como para a investigação dos seus resultados em relação à compreensão dos conceitos e das explicações científicas e à apropriação da linguagem social da ciência.

3. DESCRIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DIDÁTICA:

A seqüência didática foi estruturada em quatro momentos: (1) introdução ao pensamento evolutivo, suas implicações para o pensamento ocidental e aplicações sociais; (2) construção do problema da diversificação da forma orgânica e introdução dos princípios que estruturam a seleção natural; (3) Apresentação formal da teoria darwinista da evolução: descendência comum, seleção natural e conceito de adaptação, especiação; (4) Aplicação da teoria seleção natural na interpretação de problemas sócio-científicos.

No primeiro momento, a intenção foi explorar as idéias dos estudantes acerca do tema “evolução biológica”. Buscando minimizar a rejeição ao tema e mobilizar os estudantes, planejamos uma estratégia em que, ao mesmo tempo, antecipávamos os possíveis conflitos entre as idéias darwinistas e a visão de mundo dos estudantes e investíamos no reconhecimento da importância da teoria para a humanidade, em termos culturais e na melhoria da qualidade de vida. Foi oferecido aos estudantes um conjunto de 5 textos que versavam sobre: (1) a recepção da obra “A Origem das Espécies” pela sociedade inglesa vitoriana; (2) as aplicações modernas das idéias darwinistas; (3) o impacto da teoria darwinista no pensamento ocidental; (4) a biografia de Darwin e a construção de sua teoria; (5) a importância de estudar a biologia evolutiva. Cada um dos textos foi lido e discutido em pequenos grupos. Em seguida, a discussão de cada grupo foi relatada e sistematizada para toda a turma.

No segundo momento, criamos cenários que permitissem explorarmos os modelos explicativos dos estudantes para diversificação da forma orgânica, ao tempo em que introduzíamos a “estória científica”. Para tanto, nos valem de duas estratégias. A primeira delas foi a análise do caso da diversificação dos tentilhões das Galápagos. Foram fornecidos dados sobre a distribuição geográfica das espécies de tentilhões no arquipélago, bem como dados sobre a relação entre o tamanho dos bicos desses pássaros, o tipo de recurso alimentar explorado pelos mesmos e as estratégias usadas para sua exploração, com base nos trabalhos de Grant & Grant (1995). À medida que os dados eram analisados, a professora solicitava aos estudantes que formulassem explicações para a diversidade morfológica dos bicos e para origem das espécies de tentilhões das ilhas Galápagos, e que fizessem previsões acerca do comportamento de populações distintas destes pássaros em situações de mudanças ambientais, como a escassez de alimento provocada por secas prolongadas. O passo seguinte foi a realização do Jogo “Clipsitacídeos”². Simulamos um processo de mudança populacional decorrente de mudanças no regime seletivo, especificamente a oferta de alimento, num contexto de separação geográfica e isolamento reprodutivo de uma população inicial de pássaros com variação fenotípica em relação ao tamanho dos bicos. O jogo possibilita trabalhar a noção de variação intra-populacional, demonstrar os processos de competição, sobrevivência e reprodução diferencial, assim como a mudança de frequência na população em um contexto ecológico específico. Desse modo, a atividade dá acesso aos princípios do mecanismo de seleção natural.

No terceiro momento, a intenção foi, a partir da discussão dos resultados do jogo, sistematizar os princípios que estruturam o mecanismo da seleção natural e apresentar formalmente a teoria da seleção natural, como uma das idéias que estruturavam o pensamento evolutivo de Darwin. Pretendia-se desenvolver a estória científica, apresentando o modelo darwinista para explicar a origem e adaptação das espécies.

No quarto momento, procuramos criar contextos para que os estudantes pudessem aplicar o modelo explicativo baseado na adaptação por seleção natural a novas situações relativas a problemas sócio-científicos. Planejamos explorar duas situações-problema: o surgimento de resistência de pragas agrícolas a inseticidas e de resistência bacteriana a antibióticos. Devido ao tempo que dispúnhamos, trabalhamos apenas com o primeiro problema. Para introduzir a atividade, foi realizada a leitura coletiva de um texto pequeno a respeito dos dois fenômenos (Silva Júnior; Sasson, 2005, pg.218), a partir da qual foram explorados e mapeados os modelos explicativos dos estudantes. A professora buscou questionar alguns dos pressupostos que sustentavam estes modelos e oferecer apoios para que pudessem aperfeiçoá-los. Em seguida, foi fornecido aos estudantes um roteiro contendo

a descrição de um cenário de combate a pragas com uso de inseticidas por um agricultor em uma lavoura experimental e os resultados obtidos. No cenário é mostrado o surgimento de uma linhagem resistente após aplicações frequentes do mesmo inseticida. Ao final do roteiro, solicitava-se aos estudantes que construíssem uma narrativa que explicasse como a praga agrícola ilustrada no caso se tornou resistente ao inseticida, procurando, para tanto, utilizar os termos “organismo”, “população”, “variação”, “adaptação” e “seleção natural”.

Esta seqüência foi aplicada a uma turma do terceiro ano da formação geral do turno noturno de um dos maiores estabelecimentos de ensino público estadual do município de Feira de Santana, a segunda cidade mais populosa do estado da Bahia.

4. METODOLOGIA:

Os resultados da seqüência didática foram avaliados através da análise de interações discursivas ocorridas entre a professora e os estudantes em episódios de ensino selecionados. Procuramos investigar de que modo a professora e os estudantes falavam a respeito das mudanças evolutivas e faziam uso da linguagem social da ciência escolar, ao longo do desenvolvimento da estória científica em sala de aula.

Os episódios de ensino constituem um conjunto de enunciados produzidos por professores e estudantes, selecionados a partir do registro de observação em vídeo de uma seqüência de aulas, segundo objetivos e critérios de pesquisa. Foi gravado um total de cinco horas e trinta minutos de interações discursivas em sala de aula, das quais foram selecionados episódios que, em conjunto, nos permitiam contar como a estória científica foi desenvolvida ao longo da seqüência.

Para analisar o progresso dos estudantes na compreensão do ponto de vista da ciência e sua relação com a dinâmica discursiva da sala de aula, nos amparamos nas seguintes ferramentas teórico-metodológicas: (1) a descrição dos estágios de apropriação de significado propostos por Mortimer e Scott (2003); (2) a caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação; (3) e a estrutura analítica do discurso em sala de aula de ciências desenvolvida por Mortimer e Scott (2003).

De acordo com o modelo de perfil conceitual (Mortimer, 2000), perfis são construídos para cada conceito, contendo zonas constituídas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos que fundamentam uma perspectiva de significar o conceito. A despeito de cada indivíduo apresentar seu próprio perfil conceitual, as zonas em si são potencialmente compartilhadas por todos indivíduos de uma mesma cultura, sendo que, o que varia entre os indivíduos é a frequência de uso de distintos modos de pensar construídos socialmente. Na figura 1, apresentamos uma caracterização epistemológica das quatro zonas que compõem o perfil conceitual de adaptação que empregamos em nossa análise. O discurso da ciência escolar sobre mudança evolutiva compartilha a maior parte dos compromissos da zona variacional, os quais coincidem em grande parte com a perspectiva darwinista de interpretar o conceito de adaptação.

ZONAS	Compromissos ontológicos e epistemológicos
Mecanicismo Intra-orgânico	A existência de traços adaptativos é explicada preferencial ou exclusivamente pelo apelo a causas próximas, particularmente, processos fisiológicos e biomecânicos, tidos como suficientes para explicar a organização da estrutura orgânica.
Ajuste Providencial	A adaptação é concebida, em termos ontológicos, como um estado de ser ou propriedade do organismo de se encontrar ajustado às suas condições de vida. Em termos causais, este ajuste é explicado apelando-se ao princípio da economia natural e a uma perspectiva teleológica de ordenação da forma orgânica.

Perspectiva Transformacional	A adaptação é interpretada como resultado de um processo de transformação da essência da espécie em direção a um estado ótimo de ajuste às condições ambientais. Os mecanismos evocados para explicar essa transformação podem ser a herança de caracteres adquiridos por uso e desuso, a modificação do material genético ao longo do tempo de vida do organismo que são herdadas pelos descendentes, ou a ação deliberada e/ou consciente dos organismos. A mudança evolutiva é explicada por meio das transformações pelas quais cada organismo individual da população passa.
Perspectiva Variacional	A adaptação é concebida como o resultado de um processo de propagação seletiva e fixação de variantes numa população em determinado regime seletivo. A evolução biológica é concebida como o resultado das mudanças na proporção de organismos variantes na população.

Figura 1: Caracterização epistemológica das zonas do perfil conceitual de adaptação.

A estrutura analítica proposta por Mortimer e Scott (2003) compreende três dimensões relativas à interação em sala de aula: *o foco de ensino, a abordagem comunicativa e as ações*. A abordagem comunicativa é o elemento central da análise, dado que é através dela compreendemos como são trabalhados os focos de ensino pelo professor, por meio de quais ações, as diferentes *intervenções pedagógicas*, as quais resultam em diferentes *padrões de interação*. A abordagem comunicativa diz respeito a duas dimensões que caracterizam a comunicação docente com os estudantes: se há interação entre a professora e os estudantes, e se a professora leva em conta as idéias dos estudantes na construção de significados em sala de aula. As respostas a estas questões definem dois eixos a partir dos quais a abordagem comunicativa pode ser caracterizada: interativa – não-interativa e dialógica – de autoridade. Uma seqüência de interação discursiva é dita dialógica se diferentes pontos de vista são considerados na interação entre professor e estudante. Quando apenas um ponto de vista é contemplado, normalmente o da ciência escolar, estabelece-se uma abordagem comunicativa de autoridade. Estas diferentes abordagens comunicativas são construídas através de alguns padrões de interação entre professor e estudantes. Mortimer e Scott (2003) citam duas categorias mais comuns: o padrão triádico I-R-A, correspondendo a tríades de iniciação do professor, resposta do aluno e avaliação do professor, e as cadeias de turnos não-triádicas, nas quais o professor realiza uma ação discursiva que permite que o aluno dê prosseguimento sua fala (I-R-P-R-P), ou introduz uma informação adicional, oferecendo um *feedback* para que o aluno elabore sua resposta (I-R-F-R-F....).

5. ANÁLISE DOS EPISÓDIOS DE ENSINO:

Em função do limite de espaço não será possível apresentar os conjuntos de enunciados que compõem cada um dos episódios analisados. Apresentaremos, no entanto, uma narrativa que descreve as etapas do desenvolvimento da estória científica a partir da descrição de alguns dos episódios de ensino selecionados para análise. Nesta narrativa descreveremos as estratégias discursivas empregadas pela professora e suas implicações no progresso dos estudantes na compreensão do ponto de vista da ciência escolar.

O primeiro episódio destacado ocorreu no início da seqüência, quando a professora buscava explorar o significado que os estudantes atribuíam ao termo “evolução” no contexto da Biologia. Os estudantes citaram os seguintes termos para explicar o que entendiam por evolução: multiplicação, desenvolvimento, transformação e crescimento. Em um dado momento a professora avaliou negativamente o uso do termo “crescimento” e selecionou o termo “transformação”, solicitando aos estudantes que desenvolvessem seu significado. Essa estratégia levou a uma estudante a desenvolver uma narrativa de evolução

linear dos organismos desde o surgimento dos microorganismos até a origem da espécie humana na Terra. Ao final do episódio, no entanto, a professora deixou em aberto qual seria o significado mais apropriado, ao considerar que alguns dos termos citados estariam relacionados à evolução, mas sem especificar quais e em que sentido. Fica claro que a idéia de evolução da ciência escolar, significando transformação das espécies ao longo do tempo, ainda não era compartilhada por grande parte dos estudantes.

Um conjunto de três episódios foi selecionado do registro da segunda aula na qual foi analisado o caso da diversificação da forma dos bicos dos tentilhões das Galápagos. No primeiro episódio, a professora explorou os modelos explicativos dos estudantes através de uma abordagem comunicativa interativa-dialógica, estabelecendo uma cadeia aberta de interação I-R-P-R-P. Os estudantes explicam a diversidade dos bicos dos tentilhões das Galápagos a partir de uma interpretação da adaptação como um ajuste às condições pré-existentes: a diferença no formato e tamanhos dos bicos seria explicada de acordo com a alimentação e o habitat das espécies. Durante este episódio, os estudantes empregaram, portanto, uma perspectiva providencial de significar o conceito de adaptação, semelhante àquela descrita na primeira zona do perfil (figura 1). Um dado importante é que os estudantes usam o termo adaptação para explicar a distribuição geográfica das espécies de tentilhões. Neste caso, o termo foi usado para designar a propriedade de estar ajustado às condições ambientais, e apresenta, assim, um significado diferente daquele que possui no discurso darwinista.

No segundo episódio, a professora mudou a abordagem comunicativa e dirigiu o discurso da sala de aula para uma perspectiva mais próxima da ciência escolar, ao propor aos estudantes, através de um discurso de autoridade, que considerassem três premissas na elaboração de suas explicações: (1) os modelos explicativos deveriam pressupor a idéia de evolução; (2) a noção de ancestralidade comum é fundamental em um modelo explicativo evolutivo; e (3) a espécie do continente pode ser considerada um ancestral comum dos tentilhões das Galápagos. Dois estudantes (estudante 1 e 2) se apropriaram das noções de ancestralidade e mudança evolutiva, passaram a explicar a origem da diversificação da forma dos bicos dos tentilhões como resultado de uma transformação das características das espécies ao longo das gerações. Esta transformação seria dirigida pelas necessidades dos organismos, as quais, por sua vez foram geradas por mudanças ambientais. A adaptação antes interpretada a partir de uma perspectiva providencial passou a ser interpretada a partir de uma perspectiva transformacional, tal como descrita no perfil conceitual acima (figura 1). O termo “adaptação” passou a significar um processo de mudança gradual. O uso da expressão “vai se adaptando” pelos estudantes foi a marca discursiva deste novo modo de significar o conceito de adaptação.

No terceiro episódio, a professora usou duas estratégias para dirigir o discurso para a perspectiva variacional de adaptação: (1) introduziu a noção de variação fenotípica intra-populacional; e (2) introduziu a idéia de que as variantes fenotípicas podem apresentar eficiência diferencial na obtenção de recursos. Alguns estudantes conseguiram se apropriar desta última noção e prever a reprodução diferencial das variantes fenotípicas, pássaros com bicos de diferentes tamanhos, em situações em que há escassez de recursos alimentares. Outros, no entanto, sugeriram hipóteses alternativas. Aqueles comprometidos com uma perspectiva providencial de significar a adaptação previram a migração da população que não conseguia explorar bem os recursos disponíveis, para outra área mais propícia a sua sobrevivência. Um dos estudantes que vinha desenvolvendo uma perspectiva transformacional, estudante 2, propôs que os membros da população de pássaros que não

conseguiram explorar o único recurso disponível após um período de seca, as sementes grandes, sofreriam uma transformação no tamanho dos bicos de modo que pudessem explorar este recurso. A plausibilidade deste modelo foi questionada por uma estudante (estudante 6), que argumentou que um traço hereditário, o bico, não poderia crescer durante o tempo de vida de um organismo para se ajustar às novas condições ambientais. O estudante 2 buscou uma confirmação da professora acerca do reclame feito pela estudante 6. A professora não respondeu de forma direta à questão do estudante, perdendo uma oportunidade de esclarecer esta questão. Ela afirmou que pode haver um processo de mudança evolutiva de uma população que resulte em modificação de suas características, mas deu a entender que o mecanismo responsável por este processo não era o descrito pelo estudante 2 e que tal mecanismo deveria ser explicitado posteriormente.

O próximo episódio ocorreu após a realização do jogo dos clipsitacídeos. A professora inicia a análise dos resultados obtidos pelas equipes no jogo, a mudança de composição de variantes fenotípicas nas populações de pássaros a medida em que se estabeleciam diferentes regimes seletivos correspondentes – o tipo e quantidade de alimento que era fornecido a cada grupo. De início a professora estabeleceu que os estudantes deveriam analisar os resultados empregando a noção de competição e os dados referentes às mudanças na composição dos grupos a cada rodada do jogo. Os estudantes a princípio priorizaram a quantidade de alimento fornecida para analisar os resultados. Através de um padrão de interação triádico I-R-A ou de cadeias fechadas I-R-P-A, a professora guiou os estudantes para considerarem não apenas a mudança na quantidade, mas também a mudança na oferta do tipo de sementes e a quantidade relativa de cada um. E em seguida, ela usou a mesma estratégia para chamar atenção dos estudantes para a eficiência diferencial de cada tamanho de bico dos pássaros na exploração dos recursos. Desta forma a professora conseguiu que os estudantes se apropriem das noções de sobrevivência e reprodução diferencial das variantes fenotípicas, e introduziu a idéia de mudança na frequência de variantes a cada geração. O próximo passo foi tentar construir com os estudantes o conceito darwinista de adaptação. Para tanto a professora enfatizou a informação de que o bico era uma característica hereditária. Sugeriu, então que levando em conta essa informação, os estudantes fizessem previsões acerca da permanência e fixação das características nas populações analisadas, e relacionassem o que ocorreu no jogo com o termo “adaptação”. Os estudantes usaram o termo adaptação para caracterizar a capacidade de certos pássaros de explorar bem o recurso disponível, de modo a se ajustar às condições ambientais vigentes. A professora encerrou a aula introduzindo, através de um discurso de autoridade, o conceito darwinista de adaptação, tratando-o como a permanência da característica vantajosa na população.

Ao longo deste episódio, a professora empregou sistematicamente a estratégia de repetir os enunciados de estudantes substituindo termos e modos de falar da linguagem cotidiana, por eles empregados, pelos termos e modos de falar da linguagem social da ciência, promovendo a socialização dos estudantes com esta última linguagem.

Nas duas aulas seguintes, a professora buscou a partir dos dados obtidos no jogo modelar o mecanismo de seleção natural e, relacionando o fenômeno observado no jogo com as explicações para a origem da diversidade de tentilhões nas Ilhas Galápagos, desenvolver a estória científica. Em um dos episódios que selecionamos deste momento da seqüência, a professora solicitou que os estudantes retornassem ao cenário dos tentilhões de Galápagos. Os estudantes conseguiram usar as idéias de evolução, herança e descendência comum para explicar como, a partir da migração de uma espécie de tentilhão do continente,

originaram-se as treze espécies de tentilhões das Ilhas Galápagos. A professora elaborou a narrativa de um dos estudantes para enfatizar que o que ele estava descrevendo era um fenômeno que ocorria ao nível das populações e não de organismos individuais e tentou guiar os estudantes para operar com esta idéia para pensarem no mecanismo pelo qual a mudança nas populações que migraram para as ilhas ocorreu. Uma das estudantes propôs, então, um processo em que mudanças gênicas dirigidas por mudanças ambientais ocorreriam nos indivíduos e seriam passadas ao longo das gerações, até que toda população seria modificada. A professora não questionou diretamente os pressupostos transformacionais que fundamentavam o modelo construído pela estudante, e sim, traduziu a narrativa dela em termos variacionais:

Estudante 1: Não/ porque conforme foi mudando a vegetação/ o fator genético também foi mudando.

Professora: O fator genético? Como assim/ Estudante 1?

Estudante 1: Do descendente/ da população.

Professora: Os genes/ a carga genética ia variando?

Estudante 1: Ia variando. E aí foi mudando. Por isso que houve esse diferencial/ porque ele mudou.

Professora: Certo. Então/ na verdade/ nessa situação eles estavam submetidos a um regime seletivo e que ocorreu o que? Ô gente/ o que é que ocorreu? Mudança de uma população ao longo das gerações. E o que é que isso?

Estudante (?): Evolução.

Professora: É evolução?

Estudante 1: Isso.

Professora: Evolução. OK.

6. CONCLUSÕES:

Consideramos que houve alguns avanços na apropriação do ponto de vista da ciência escolar, ao longo da seqüência didática. Estudantes que não tinham clareza do significado do termo “evolução” nas ciências biológicas, passaram a empregá-lo para descrever mudanças fenotípicas que ocorrem em populações de organismos ao longo do tempo e que levam à diversificação. De um modo geral a idéia de evolução e de descendência comum foi apropriada pelos estudantes.

O domínio do modelo explicativo da seleção natural como um dos mecanismos responsáveis pela mudança evolutiva, no entanto, teve menor sucesso. A evolução foi explicada pelos estudantes a partir da idéia de que os organismos se transformam numa geração, como uma resposta direta às condições ambientais, e então esta transformação é transmitida às novas gerações.

Ao longo das interações discursivas nas duas últimas aulas analisadas, os estudantes 1 e 2 constroem, um modelo em que as condições ambientais, disponibilidade de sementes, modificavam diretamente o material genético de modo a gerar em uma ou duas gerações variantes fenotípicas mais aptas, pássaros com bico maiores, a explorarem o recurso alimentar disponível. A partir daí a seleção natural agiria, fixando este caráter na população e aperfeiçoando-o, de modo a tornar a população ainda mais ajustada. Este modelo está ancorado na noção denominada por Mayr (1998, p. 766) de hereditariedade tênue, a idéia de que o material genético, a base genética das características fenotípicas, é em si é “plasmável”, “flexível”, podendo mudar por indução direta do ambiente, ou por uso

e desuso. Segundo a análise de Mayr (1998), esta idéia fundamentaram muitos modelos transformacionais, como àqueles propostos pelo neolamarckismo do fim do século XIX.

O modelo explicativo proposto por estes estudantes, portanto, incorpora alguns princípios do pensamento darwinistas – a seleção de variantes fenotípicas mais aptas como resultado da sobrevivência e reprodução diferencial dos organismos que as portam – a uma perspectiva transformacional da adaptação. Ele pode representar uma fase transitória na compreensão e apropriação do modelo darwinista, ou um modelo híbrido, e por isso, relativamente problemático, o qual os estudantes passarão a empregar para tratar de evolução.

Com base na análise dos episódios à luz do modelo do perfil conceitual, podemos apontar alguns fatores que dificultaram a compreensão do modelo darwinista por estes estudantes. De acordo com a noção de perfil conceitual, a aprendizagem de um conceito envolve, primeiro, a aquisição de novas zonas de um perfil conceitual, ou seja, de novas perspectivas de significar um conceito, e segundo, a tomada de consciência do perfil e da demarcação entre suas zonas. Cada uma das zonas se encontra fundamentada em compromissos epistemológicos e ontológicos que estruturam um modo de entender e representar a realidade. Para que a nova perspectiva se mostre plausível e possa ser apropriada pelo estudante é preciso que ele compreenda os compromissos que a sustentam, caso contrário, ele tenderá a julgá-la contra-intuitiva. Neste caso, os estudantes ainda não conseguiram compreender o pensamento populacional, um compromisso epistemológico fundamental para perspectiva variacional de significar adaptação. Além disso, eles se encontram muito apegados a compromissos ontológicos que estruturam as zonas do ajuste-providencial e da perspectiva transformacional, a exemplo das noções de harmonia no mundo natural, e do princípio de economia na natureza. Assim, ainda que tenham se apropriado de alguns princípios darwinistas, os estudantes continuam considerando mais intuitiva a idéia de que a evolução é um processo em que a espécie se transforma ao longo do tempo a partir da transformação individual de cada organismo, e não um processo populacional, no qual são as populações que mudam ao longo do tempo, na frequência de distribuição de suas características.

A falta de distinção entre variação intra-populacional e variação inter-específica e a falta de conhecimento acerca dos processos que produzem a variação fenotípica nas populações foram alguns dos fatores que dificultaram o desenvolvimento do pensamento populacional pelos estudantes.

Trata-se por fim de um caso em que uma zona do perfil, a perspectiva variacional, não foi construída nas interações discursivas em sala com consistência suficiente para que emergisse uma tomada de consciência de sua demarcação em relação a outros modos de pensar. Em termos pedagógicos, um aspecto que dificultou essa construção, consistiu no fato da professora ter evitado fornecer avaliações negativas que seriam estratégicas para introduzir a estória científica. Um exemplo emblemático consistiu no episódio em que o estudante 2 questionou se o modelo explicativo apresentado por ele estava de fato equivocado, conforme o reclame feito pela estudante 6 a respeito do caráter hereditário dos bicos dos pássaros. Neste momento, a professora poderia ter assumido uma abordagem de autoridade mais clara, explicitado o problema com a noção de hereditariedade tênue pressuposta pelo estudante e introduzido a noção de herança dura, para usar a distinção sugerida por Mayr (1998). Caso usasse esta estratégia, a professora promoveria uma espécie de virada discursiva, em que uma abordagem comunicativa mais dialógica daria lugar a uma abordagem de autoridade, tal como o fez na transição entre o primeiro e

segundo episódio da aula sobre os Tentilhões das Galápagos. Tais transições entre abordagem comunicativa dialógica e de autoridade e vice-versa, coerentes com as intenções pedagógicas, foram apontadas por Scott, Mortimer e Aguiar (2006) como um aspecto fundamental de seqüências de ensino que promovem a aprendizagem significativa do conhecimento científico.

Diante dos resultados obtidos em nossa experiência, sugerimos algumas diretrizes para o ensino de evolução por seleção natural. Em termos conceituais consideramos fundamental investirmos no desenvolvimento do que Mayr (1998) designou pensamento de população. Este investimento deve ser contínuo ao longo da formação do estudante e demanda não só contribuições da genética, como da ecologia.

Em termos pedagógicos, ficou clara a importância de situações problemas que exploram cenários de diversificação das espécies. A análise de dados relativos à distribuição geográfica, eficácia diferencial de variantes fenotípicas e mudanças demográficas, favoreceu a introdução de noções que estruturam o pensamento darwinista e sua apropriação pelos estudantes. Este resultado é coerente com o reconhecimento de Vygotsky (2001) acerca do papel da resolução de problemas na formação de conceitos. Para Vygotsky (2001), mais determinante ainda para este processo é o uso funcional do signo. Portanto, em termos discursivos, duas estratégias são fundamentais, a introdução de termos próprios do discurso da ciência e a precisão conceitual no seu emprego. No nosso caso específico, merecem bastante atenção os termos “variação”, “variante”, “adaptação”, “espécie”, “população”, “evolução”, “desenvolvimento”. Ainda em termos discursivos, é preciso conduzir os estudantes na apropriação nos modos de falar mais próximos da perspectiva variacional, através, por exemplo, da produção de enunciados em que os organismos figurem como objetos do processo evolutivo, como a afirmação “as bactérias resistentes foram favorecidas”, em lugar de enunciado em que os organismos figuram como sujeitos da mudança evolutiva, a exemplo de “as bactérias desenvolveram resistência”.

No que diz respeito à abordagem comunicativa, a análise dos episódios nos mostrou que um bom planejamento e manejo de momentos de transição entre interações dialógicas e intervenções de autoridade de fato é preponderante para promover a apropriação do ponto de vista da ciência, como argumentam Scott, Mortimer e Aguiar (2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BAKHTIN, M.M. Discourse in the novel. In: M. HOLQUIST (ed.). *Dialogical Imagination*. Austin: University of Texas Press. [1934].1981.
- BISHOP, B.A. , ANDERSON, C.W. Student conception of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5) ,415-427. 1990
- BIZZO, N.M.V. From Down House Landlord to brazilian high school students: what has happened to evolutionary knowledge on the way. *Journal of Research in Science Teaching*, v.31, n.5, pp. 517-556. 1994
- CLOUGH, E.E.; WOOD-ROBINSON, C. (1985) How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19 (2), pp. 125-130.
- DAGHER, Z.R, BOUJAOUDE, S. (2005) Students' Perceptions of the Nature of Evolutionary Theory. *Science Education*, 85 (3), pp.378-391.
- DEMASTES, S.S.; STTLAGE, J. ; GOOD, R. (1995). Students' Conceptions of Natural Selection and its Role in Evolution: Cases of Replication and Comparison. *Journal of Research in Science Teaching* 32 (5), pp.535-50.

FERRARI, M. ; CHI, M.T.H. (1998) The nature of naïve explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20 (10), pp. 1231-1256.

GRANT, P. R.; GRANT, B. R. Predicting mi-croevolutionary responses to directional selection on heritable variation. *Evolution*. n.49, pp. 241-251. 1995

JENSEN, M.S. & FINLEY, F. N. (1996). Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and Instructional Strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (8), 879-900.

MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento Biológico*. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 1998. 1107p.

MEYER, D. ; EL-HANI, C.N. *Evolução: o sentido da Biologia*. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

MORTIMER, E. F. (2000). *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

MORTIMER, E.F; SCOTT, P.H. *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press. 2003. 141p.

OGBORN, J.; KRESS, G.; MARTINS, I.; MCGILLICUDDY, K. *Explaining science in the classroom*. Buckingham: Open University Press. 1996.

SCOTT, P.H.; MORTIMER, E.F; AGUIAR, O.G. The tension between authoritative and dialogic discourse: a fundamental characteristic of meaning making interactions in High School Science Lessons. *Science Education*, 90, pp.605-631. 2006.

SILVA JÚNIOR, César da; SASSON, Scezar. *Biologia*, 7ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

SMITH, M.U.; SIEGEL, H.; McINERNEY, J.D. Foundational issues in evolution education. *Science & Education*, v.4, pp. 23-46, 1995.

SINATRA, G.M.; SOUTHERLAND, S.A.; McCONAUGHY; DEMASTES, J.W. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5) , pp. 510-528.

VOLOCHINOV, V. N. *Marxismo e filosofia da linguagem*. Tradução de M. Laudud & Y. F. Vieira. São Paulo: Hucitec. [1929]1992.

VYGOTSKY, L. S. The genesis of higher mental functions. In: J.V. Wertsch (ed.) *The concept of activity in Soviet psychology*. Armonk-NY: Shape. 1981.

VYGOTSKY, L. S. *A construção do pensamento e da Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes. 2001.

WERTSCH, J. V. *Vygotsky and the social formation of mind*. Cambridge: Harvard University Press. 1985. 262p.

¹ Mortimer e Scoot (2003, p.18) usam o termo “estória científica” (*scientific story*) para designar o ponto de vista da ciência tornado acessível aos estudantes no espaço social da sala de aula. Os autores se baseiam na idéia de Ogborn e colaboradores (1996) de que a ciência escolar oferece uma abordagem aos fenômenos naturais expressa em termos de idéias e convenções próprias da linguagem da ciência escolar, de modo a compor uma espécie de roteiro, semelhante a uma estória.

² O nome original do jogo é Clipbirds. Uma descrição detalhada dos procedimentos e materiais empregados na realização do jogo é disponibilizada no site www.ucmp.berkeley.edu/education/lessons/clipbirds, um link do site *Understanding evolution* (<http://evolution.berkeley.edu/>) desenvolvido pela Universidade da Califórnia para apoiar professores no ensino de evolução. Nós empregamos uma adaptação do jogo desenvolvida e testada por Ana Maria Rocha de Almeida e Martha Vargens, pesquisadoras do Grupo de Pesquisa em Filosofia, História e Ensino de Ciências Biológicas (IB-UFBA).